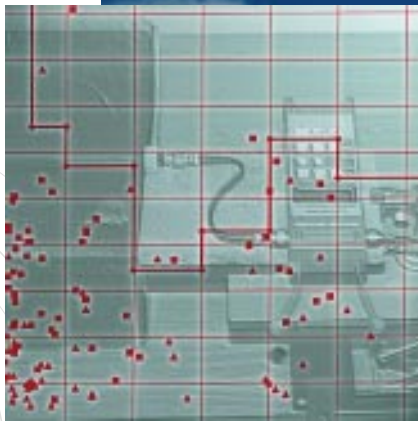


# Newsletter

# Edition Wissenschaft

Forschungsgemeinschaft Funk e.V. · G 14515 · Ausgabe Nr. 7 · Mai 1996



## Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte

Von W. Irnich, L. Batz, R. Müller  
und R. Tobisch



Forschungsgemeinschaft Funk

Forschungsgemeinschaft  
Funk

## Editorial

### Liebe Leserinnen und Leser,

die mögliche Beeinflussbarkeit von Herzschrittmachern durch elektromagnetische Felder war ein Thema, das im letzten Jahr häufiger für Schlagzeilen sorgte. Es war auch schon Schwerpunkt des „Newsletters“ (Ausgabe 4/95), in der wir diesbezüglich die neuesten Forschungsergebnisse vorgestellt haben.

Zum Thema „Herzschrittmacher“ liegen insgesamt drei Abhandlungen, zwei praktische und eine theoretische, vor. Die vorliegende Ausgabe enthält die komplette Studie zur „Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunk“ von Prof. Irnich.

In Ausgabe 5/96 der „Edition Wissenschaft“ präsentierten wir Ihnen bereits den vollständigen Bericht der Studie der Firma CETECOM über die „Störfestigkeit von Herzschrittmachern im Frequenzbereich 30 kHz bis 2,5 GHz“. Ziel der CETECOM-Studie war es, aus den Ergebnissen über die Störfestigkeit von Herzschrittmachern auf Hinweise für die Träger von Herzschrittmachern – z.B. bei Gebrauch von Handys – ableiten zu können.

In Ausgabe 6/96 veröffentlichten wir die Berichte von Prof. Hansen über die „Berechnung der Eingangsimpedanzen von Herzschrittmachern und der durch einen externen Dipol am Herzschrittmachereingang erzeugten Störspannung“, die der CETECOM-Studie zugrunde liegen.

Gerd Friedrich

## Inhalt

Schlußbericht: <b>Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte</b>	3
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Meßmethodik	5
2.1 Simulation des Schrittmachers im Patienten	5
2.2 Das Mobilfunkgerät als Störgenerator	7
2.3 Die Elektrode als Empfangsantenne	8
2.4 Vorgehensweise bei der Messung	8
3 Ergebnisse	9
3.1 Berechnung der Stördistanz als Funktion der Sendeleistung	9
3.2 Störbeeinflussung durch Demodulationsprodukte	9
3.3 Sendeleistung und programmierte Empfindlichkeit	10
3.4 Messungen an 231 Schrittmachern	10
4 Diskussion	11
4.1 Gefährdung von Schrittmacher-Patienten durch Mobilfunkgeräte	11
4.2 Gefährdung und Sicherheitsabstände	16
4.3 Anzahl der durch Mobilfunk betroffenen Schrittmacher-Patienten	16
4.4 Störbeeinflussung und Schrittmacheralter	17
4.5 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	17
4.6 Störbeeinflussung und Schrittmacherfabrikat	18
4.7 Ratschläge für Arzt und Patient	19
4.8 Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer Arbeitsgruppen	20
4.9 Schlußfolgerungen	21
5 Anhang	22
5.1 Berechnung der Stördistanz und der Störfestigkeit	22
5.2 Ermittlung der Anzahl der zur Zeit (1994) implantierten Herzschrittmacher-Modelle	23
6 Glossar	25
6.1 Glossar zum Mobilfunk	25
6.2 Glossar zum Herzschrittmacher	25
7 Literatur	26
Summary: <b>Interference of pacemakers by mobile phones</b>	27

## Danksagung

Wir sind Herrn Dipl.-Ing. K.-O. Müller von der Firma Rohde & Schwarz außerordentlich dankbar für seine Hinweise und Ratschläge, die er uns vor allem auch am Beginn der Untersuchung gegeben hat.

Ferner danken wir den Firmen Telekom, Mannesmann-Mobilfunk und E-Plus für ihre Unterstützung mit Geräten und Informationen.

Der Forschungsgemeinschaft Funk sei ebenfalls für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens herzlich gedankt.

Schlußbericht zum Forschungsvorhaben:

# Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte

Prof. Dr.-Ing. W. Irnich, Dr. rer. nat. L. Batz, T.A. R. Müller, Dipl.-Ing. R. Tobisch,  
Institut für Medizinische Technik der Justus-Liebig-Universität Gießen

## Zusammenfassung

Das Thema „Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte“ hat nicht nur in der Öffentlichkeit, sondern auch bei Mobilfunk-Felderzeugern und Schrittmacher-Patienten ein erstaunlich großes Interesse gefunden. Dies äußert sich unter anderem auch darin, daß bereits 3 Arbeitsgruppen zu Ergebnissen Stellung genommen haben und trotzdem weitere Forschergruppen mit der Erarbeitung von Daten betraut wurden. Diese Aktivitäten sind insofern bemerkenswert, als die Problematik in der Vergangenheit kaum je die Aufmerksamkeit fand, die sie im Interesse der Herzschrittmacher-Patienten verdient.

Die Qualität der Störerkennung bei heutigen Schrittmachern hat sich seit den 70er Jahren nicht nennenswert verbessert, hingegen ist die Qualität der Störunterdrückung durch das Einkapseln der Schrittmacher in Metallgehäuse deutlich erhöht worden.

Eine Störimmunität gegenüber höchstfrequenten Feldern, wie sie durch Mobilfunkgeräte im C-, D- und E-Netz erzeugt werden, ist sicher im Design bisher nicht berücksichtigt worden.

Die vorliegende Untersuchung hatte es sich zur Aufgabe gestellt, mit Hilfe eines In-vitro-Meßplatzes an möglichst vielen Herzschrittmacher-Modellen zu überprüfen, ob eine Störbeeinflussung durch Geräte des C-, D- und E-Netzes möglich ist. Für die Untersuchung konnten wir auf 231 unterschiedliche Modelle von insgesamt 20 Herstellern zurückgreifen.

Bei den Messungen wurde jeweils ein Schrittmacher samt Elektrode in eine 0,9-g/l-Salzlösung gelegt und die Antenne des Mobilfunk-Gerätes in dichtester Entfernung angebracht. Ließ sich der Schrittmacher stören, wurde das Mobilfunkgerät entsprechend angehoben, bis die Störung unterblieb. Als „maximale Stördistanz“ wurde die Entfernung protokolliert, bei der sich der Schrittmacher so gerade

noch stören ließ. Die Messungen mit den drei unterschiedlichen Netzen wurden nacheinander mit dem gleichen Schrittmacher durchgeführt.

Von 231 Modellen erwiesen sich 106 Typen als beeinflussbar, entsprechend 45,9 %, wenn alle durch C- und D-Funk gestörten Typen addiert werden. Diese Sicht ist jedoch zu pessimistisch, da bei allen Patienten nicht gleichzeitig sowohl C- als auch D-Funk angewandt wird. Unterteilt nach C- oder D-Funk ergaben sich Anteile von 30,7% bzw. 34,2% der getesteten Typen. Alle Modelle waren gegenüber dem E-Netz resistent.

Die störbaren Typen repräsentieren ihrerseits 18,6 % bzw. 27 % aller lebenden Patienten. Diese Modelle repräsentieren 20.800 bzw. 30.200 von 111.800 Patienten, so daß maximal 27 % aller Patienten als durch Mobilfunk beeinflussbar gelten müssen.

Gegenüber D-Mobilfunkgeräten erwiesen sich die Herzschrittmacher von sechs Firmen als immun,

nicht jedoch gegenüber dem C-Netz. Elf andere Hersteller besaßen sowohl störepfindliche als auch störunempfindliche Geräte.

Für den Arzt und die Patienten ergeben sich aus den Untersuchungen folgende Ratschläge: Da nur etwa 27 % aller Patienten vermutlich bei Benutzung von D-Netz-Geräten Schwierigkeiten bekommen könnten, sollte man nicht generell die Benutzung von Mobilfunk in Frage stellen. Vielmehr wäre es sinnvoll, in der Weise aufzuklären, daß man die Patienten, deren Schrittmacher beeinflussbar ist, darauf hinweist, daß bereits in 25 cm Entfernung jede Beeinflussungsmöglichkeit eines Handys aufhört. Bei transportablen Geräten hingegen sollte man einen Mindestabstand von etwa einem halben Meter einhalten. Für die Zukunft wäre es wünschenswert, wenn sich die implantierenden Ärzte nur noch Schrittmacher besorgten, deren Immunität gegenüber Mobilfunkgeräten vom Hersteller attestiert würde.

## 1 Einleitung

Seit wir im Dezember 1992 zum ersten Mal bei einer Tagung in der Öffentlichkeit über mögliche Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunk berichteten, hat dieses Thema zunehmend Aufmerksamkeit gefunden. Dies drückt sich auch dadurch aus, daß auf der diesjährigen Tagung der Bioelektromagnetischen Gesellschaft (BEMS) bei einem „Workshop on the safety of mobile communica-

tions“ in Kopenhagen gleich drei Arbeitsgruppen über ihre Ergebnisse berichteten. Auf der anderen Seite scheint das Thema für die Institutionen, die sich mit Mobilfunk befassen, so interessant zu sein, daß die Forschungsgemeinschaft Funk gleich zwei Programme förderte, die dem Thema der Störbeeinflussung durch Mobilfunk gewidmet sind.

Woher kommt auf einmal das Interesse für die Frage der Kompatibilität von Herzschrittmachern mit elektromagnetischen Feldern?

Da wir uns seit 1972 [3] mit diesem Thema beschäftigen, können wir einigermaßen beurteilen, wie sich im Laufe der Jahre die Ansichten dazu gewandelt haben. So war der erste Herzschrittmacher vom Inhibitionstyp ohne jede Störschutzschaltung. Da er außerdem sehr empfindlich war, ließ er sich durch die unterschiedlichsten elektromagnetischen Felder von der Netzfrequenz bis zur Mikrowelle inhibieren. Erste Berichte darüber tauchten 1968 [5] auf, die jedoch lange noch nicht bewirkten, daß man sich zu diesem Thema ernsthaft Gedanken machte. Besagter Schrittmachertyp ist bis 1970 gefertigt worden. Bis heute sind die Herzschrittmacher-Hersteller ihrer Linie treu geblieben, daß es ausreichend sei, wenn ein Herzschrittmacher bei Erkennung einer Störung umschaltet auf eine „Sicherheitsfrequenz“. Hinter diesem beschönigenden Term verbirgt sich eine gar nicht so sichere Betriebsweise, da unter dem Einfluß eines Störfeldes der Herzschrittmacher Herzeigensignale nicht mehr erkennen kann. Dadurch bedingt kann es in be-

stimmten Fällen dazu kommen, daß der Schrittmacher trotz Herzeigenaktionen Impulse abgibt, die, wenn sie in die sogenannte „vulnerable Phase“ des Herzens fallen, im schlimmsten Falle Herzkammerflimmern auslösen können. Dieser Störmechanismus, der in den späten 60er Jahren allgemein in die Schrittmachertherapie eingeführt wurde, ist bis heute nicht verändert worden. Die Qualität der Störerkennung hat sich seitdem nicht nennenswert verbessert, hingegen ist die Qualität der Störunterdrückung durch das Einkapseln der Schrittmacher in Metallgehäuse deutlich gegenüber den nicht-gekapselten Geräten früherer Jahre verbessert worden. Eine Störimmunität gegenüber hochfrequenten Feldern, wie sie durch Mobilfunk im D- und E-Netz erzeugt werden, ist sicher im Design bisher noch nicht berücksichtigt worden.

Die Felderzeuger haben sehr lange die Problematik zu verdrängen versucht. Dies gilt sowohl für 50-Hz-Felderzeuger, als auch für die für den Rundfunk Verantwortlichen. Lediglich die Hersteller von Diebstahlsicherungsgeräten haben sich seit den 70er Jahren bemüht, ihre Geräte so arbeiten zu lassen, daß Schrittmacherpatienten unbeeinflusst blieben. Allerdings muß für die jüngste Entwicklung in dieser Sparte eine Umkehrung insofern festgestellt werden, als bevorzugt im niedrigen Frequenzbereich arbeitende Schleusen eingeführt wurden, von denen die Hersteller sehr wohl wissen, daß sie Herzschrittmacher stören können.

Von Seiten der implantierenden Ärzte ist dieses Thema bis heute

Die Meßanordnung in der Draufsicht:  
Links im Bassin befindet sich der Herzschritt-  
macher mit angeschlossener Elektrode, darüber die Antenne  
eines portablen D-Funk-Gerätes und in  
der Mitte zwischen Antenne und portablen  
Gerät das Leistungsmeßgerät.



nicht für bedeutend gehalten worden, außer in ganz wenigen Fällen, wo einmal der implantierende Arzt selber konkrete Erfahrungen mit einer Störsituation gemacht hat [11]. Allerdings ist eine Rückkopplung auf diesem Gebiet heute zwischen Patient und implantierendem Arzt praktisch dadurch unterbrochen worden, daß mittlerweile die Betreuung von Herzschrittmachern und Patienten alleine den niedergelassenen Kardiologen obliegt. Selbst wenn sich ein Patient bei ihm über eine mögliche Störsituation beschwerte, würde diese Information wohl kaum weiter an die implantierende Klinik gegeben und kann deshalb auch von dort nicht den Hersteller erreichen.

Wie kommt nun gerade der Mobilfunk dazu, das Interesse an der Beeinflussbarkeit von Herzschrittmachern zu beleben?

Dies kann eigentlich nur mit einer allgemeinen Sensibilisierung der Öffentlichkeit zum Thema „elektromagnetische Felder“ er-

klärt werden; denn Mobilfunk gibt es bereits seit Jahrzehnten. Erst die Diskussion um das D-Netz hat die Fragestellung wieder akut werden lassen, wobei unter Umständen sogar von bestimmter Seite der Schrittmacher als Vehikel benutzt wird, unliebsame Sendemasten zu beseitigen oder nicht entstehen zu lassen.

Im Rahmen des von der Forschungsgemeinschaft Funk geförderten Projektes hatten wir uns die Aufgabe gestellt, mit Hilfe eines In-vitro-Meßplatzes an möglichst vielen Herzschrittmacher-Modellen zu überprüfen, ob eine Störbeeinflussung durch Geräte des C-, D- und E-Netzes möglich sei. Für die Untersuchung konnten wir auf 231 unterschiedliche Modelle von insgesamt 20 Herzschrittmacher-Herstellern zurückgreifen, die sich in der Sammlung des Institutes für Medizinische Technik befinden.

Es sei darauf verwiesen, daß im Glossar in Kapitel 6 Begriffe zum Herzschrittmacher und Mobil-

funk erläutert werden. Dies innerhalb des Textes zu tun, hätte zu einer Ausweitung geführt, die sicher der Lesbarkeit abträglich gewesen wäre.

## 2 Meßmethodik

### 2.1 Simulation des Schrittmachers im Patienten

Um die Situation eines Schrittmachers im Patienten elektrisch nachzubilden, wurde der Schrittmacher mit seiner Elektrode in ein Wasserbecken gebracht, in dem sich eine NaCl-Lösung befand, die in ihren elektrischen Eigenschaften der des Muskelgewebes jedoch nur im Niederfrequenz-Bereich entsprechen sollte. Dies wurde mit einer 0,9-g/l-Lösung erreicht, deren Leitfähigkeit bei 20 °C etwa 170 mS/m beträgt. Der Wert ist stark temperaturabhängig. Es wurde deshalb während der gesamten Messung sowohl die Temperatur als auch die Leitfähigkeit überwacht und letztere bei Bedarf

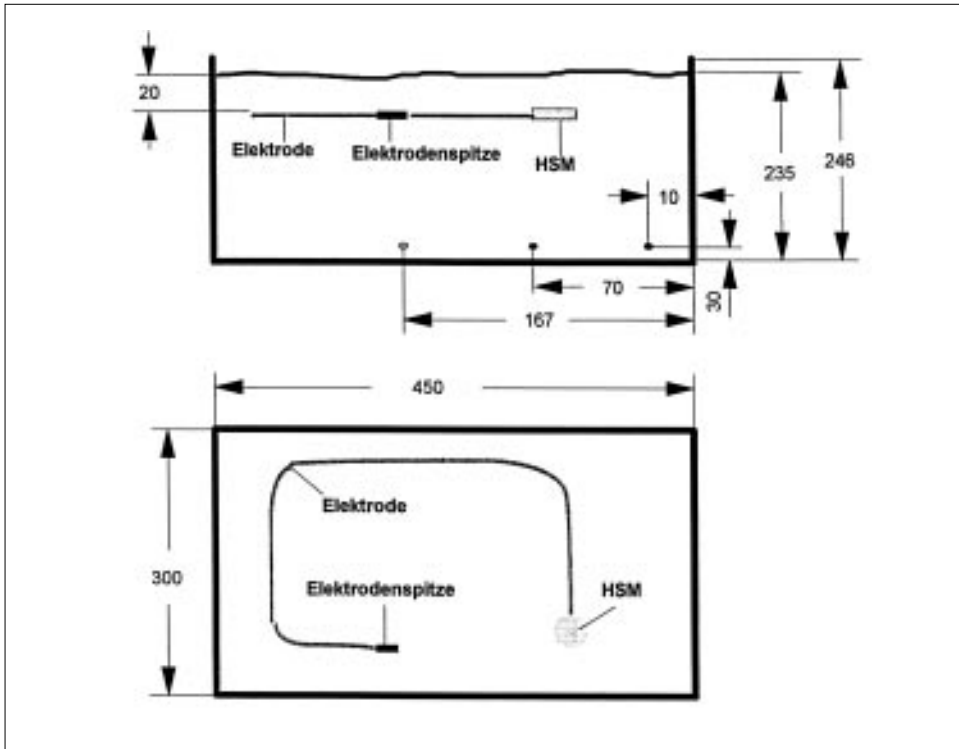


Abbildung 1a:  
Simulationsmodell für  
den Mobilfunkgerätetest,  
Patientensimulation (Tank-  
inhalt 32,0 l; 0,9 g/l NaCl)

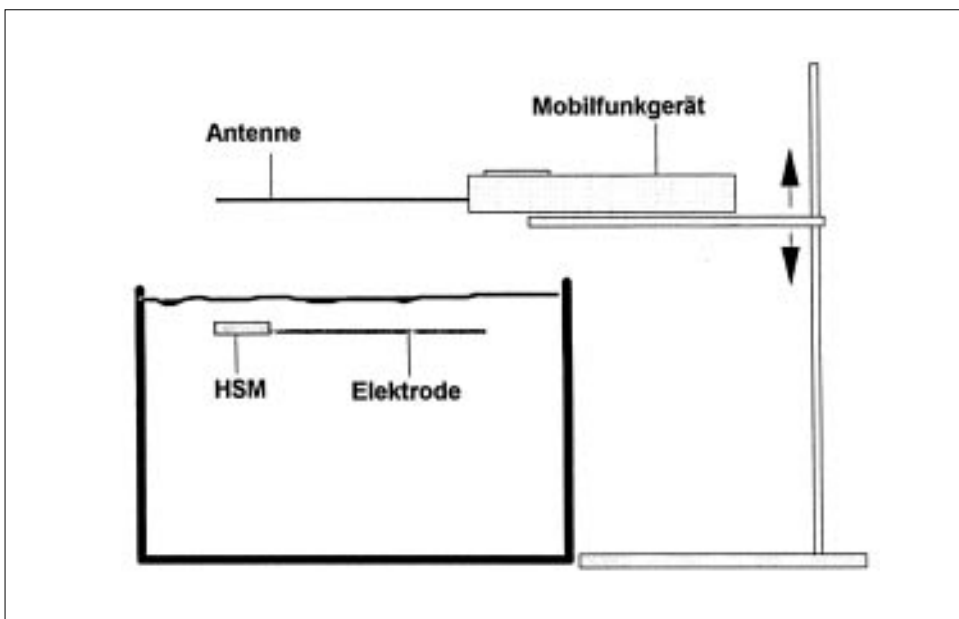


Abbildung 1b:  
Simulationsmodell für  
den Mobilfunkgerätetest,  
Ermittlung der Stördistanz

durch entsprechende Zugabe von Salz oder destilliertem Wasser korrigiert. Die Messung der Wasser-Leitfähigkeit erfolgte mit einer Spannung von 1,5 V bei einer Frequenz von 5 kHz. Da das biologische Gewebe einen komplizierten inhomogenen Aufbau

aufweist, ist sein elektrisches Verhalten auch in hohem Maße frequenzabhängig. Die Leitfähigkeit nimmt mit der Frequenz nicht-linear zu, daher nimmt die Eindringtiefe der elektromagnetischen Wellen entsprechend nicht-linear ab.

Da mit einer NaCl-Lösung die Frequenzabhängigkeit von Gewebe über den gesamten Frequenzbereich nicht nachzubilden ist, haben wir uns entschieden, die Leitfähigkeit so einzustellen, daß der Schrittmacher über seine Elektrode in etwa die Impedanz-

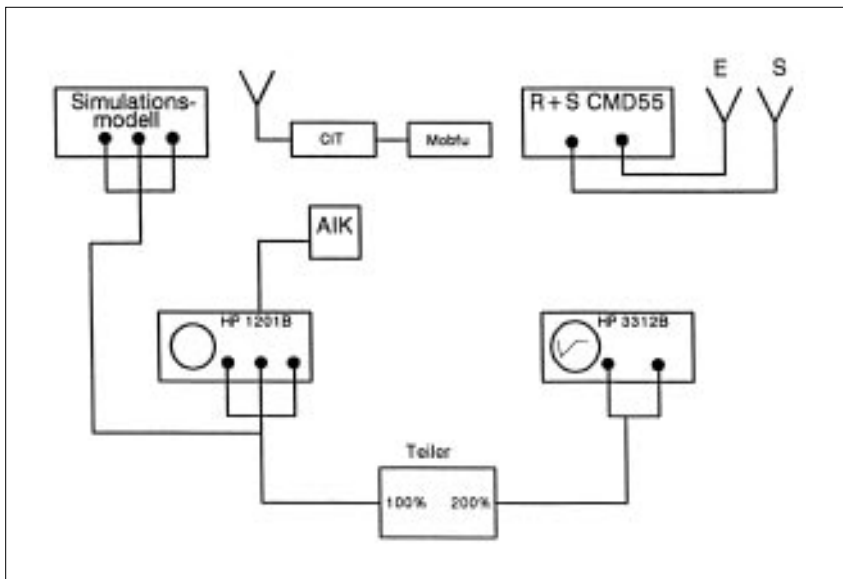


Abbildung 2: Meßaufbau

verhältnisse wiederfindet, wie er sie auch bei normaler Funktion sieht. Würde man demgegenüber die Leitfähigkeit anheben, um damit die Gewebeimpedanz im Hochfrequenzbereich zu simulieren [13], würde die den Eingang belastende Elektrodenimpedanz deutlich (etwa Faktor 2-3) niedriger ausfallen, mit der Konsequenz, daß niederfrequente Demodulationsprodukte am Eingang des Schrittmachers über diese erniedrigte Impedanz reduziert und er so gegenüber Störungen umempfindlicher werden könnte. Durch unsere verminderte Leitfähigkeit ändert sich jedoch die Eindringtiefe. Wir haben errechnet [13], daß bei 900 MHz eine Eindringtiefe von 5 mm im Gewebe dadurch simuliert wird, daß der Schrittmacher in der von uns gewählten Flüssigkeit auf 20 mm abgesenkt wird. Berechnungen ergaben [13], daß die Dämpfung auf der Elektrodenleitung relativ wenig durch die Leitfähigkeit beein-

flußt wird und wenn, dann in dem Sinne, daß das System etwas empfindlicher gegenüber HF-Störungen wird.

Das Schrittmacher-Patienten-Modell für den Mobilfunk-Test wird in Abbildung 1 skizziert. Die Antenne eines Mobilfunkgerätes konnte bis auf 10 mm an die Wasseroberfläche herangebracht werden. Schrittmacher und Elektrode wurden auf der in Abbildung 1a angegebenen Höhe von 215 mm durch Einbringen von Schaumswämmen gehalten, wie sie von Floristen auch in Gestecken zum Speichern von Wasser verwendet werden. Im Abstand von 190 mm wurden ziemlich niedrig auf dem Boden des Behälters insgesamt drei Buchsen angebracht, die den elektrischen Kontakt mit der Flüssigkeit herstellten. Über diese Buchsen konnte einmal der Herzschrittmacher-Impuls abgeleitet werden, zum anderen konnte darüber ein Inhibitions-

signal eingekoppelt werden. Aufgrund des großen Abstandes war gewährleistet, daß die Abnahme von Signalen oder das Einkoppeln nicht zu einer zusätzlichen HF-Einkopplung führte. Abbildung 1b zeigt die Vorgehensweise bei der Bestimmung der möglichen Stördistanz.

Ein Blockdiagramm der Meßanlage wird in Abbildung 2 wiedergegeben. Vom Simulationsmodell werden die Schrittmacherimpulse mit dem Oszilloskop (HP 1201 B) aufgenommen und akustisch mit der Akustik-Impulskontrolle (AIK) hör- und sichtbar gemacht. Nach Anschalten des Mobilfunkgerätes (Mobfu) und Ausmessen der Antennenleistung mit dem Leistungsmesser CIT wird bei beeinflussbaren Schrittmachern die „maximale Stördistanz“ bestimmt, bei der er gerade noch gestört wird. Über einen Teiler mit 100/200%-Umschaltung kann der Schrittmacher mit einem Dreiecksignal synchronisiert werden, wobei 100 % die Wahrnehmungsschwelle darstellt, die zur Messung des Störverhaltens auf 200 % erhöht wird [14]. Mit dem Sender CMD55 konnte die Sendeleistung der Mobilfunkgeräte variiert werden.

## 2.2 Das Mobilfunkgerät als Störgenerator

Die Mobilfunkgeräte wurden auf eine Holzplatte derart gelegt, daß sich ihre Antennen möglichst oberhalb des Schrittmachers und parallel zur Elektrode ausrichteten. Mit Hilfe von Herzschrittmachern, die auf Mobilfunksignale reagierten, konnte tatsächlich die Lokalisation auf-

gefunden werden, die maximale Einkopplung gewährleistete.

Im C-Netz wurde mit einem Handgerät mit bis zu 2 W, im D-Netz mit einem 8-W-Gerät gearbeitet. Da der Sendeleistung bei der Ermittlung der Störschwelle eine entscheidende Bedeutung zukommt und sie außerdem während eines Gespräches entsprechend den jeweiligen Übertragungsbedingungen automatisch angepaßt wird, wurde die Leistung während der jeweiligen Messung protokolliert. Sie wurde mit einem Stehwellen-Meßgerät (Rohde und Schwarz CIT) direkt an der Antenne gemessen. Für die Messungen im E-Netz stand uns außerdem ein Testsender (Rohde und Schwarz CMD 55) zur Verfügung, mit dessen Hilfe man die Sendeleistung des E-Netz-Handgerätes beliebig variieren konnte. Diesen Vorteil des Testsenders, von der jeweiligen Feststation unabhängig zu sein, haben wir auch für einige Messungen im D-Netz-Bereich genutzt.

Untersucht wurde in allen möglichen Betriebsbedingungen eines Mobiltelefons, Hierzu gehören: der Gesprächsaufbau, der reguläre Betrieb mit und ohne DTX beim D- und E-Funk (siehe Glossar in Kapitel 6.1) mit und ohne Mikrofonanregung.

## 2.3 Die Elektrode als Empfangsantenne

Messungen und Rechnungen ergaben, daß die Dämpfung auf einer Elektrode davon abhängig ist, mit welchem Material und in welcher Dicke die Isolation zwischen Leiter und Flüssigkeit ausgeführt ist [13]. In Tabelle 1 werden für drei unterschiedliche Frequenzen die Dämpfungswerte für Silikon- und Polyurethan-Elektroden sowie für eine PVC-isolierte Litze in einer Flüssigkeit mit 0,33 S/m wiedergegeben. Für alle drei Frequenzen besitzt die Silikon-Elektrode stets die geringste Dämpfung, sie steigt zwischen 100 MHz und 1000 MHz von 0,74 m<sup>-1</sup> auf 6,2 m<sup>-1</sup> an, was einer Steigerung um den Faktor 8,4 entspricht. Demgegenüber besitzt die dünn isolierte PVC-Litze eine Dämpfung von 1,6 m<sup>-1</sup> bei 100 MHz, die auf 25 m<sup>-1</sup> bei 1000 MHz ansteigt, also um den Faktor 15,6. Zwischen den beiden Extremen befindet sich die Polyurethan-Elektrode, die aufgrund ihrer höheren Dämpfung das Schrittmachersystem verglichen mit einer Silikon-Elektrode weniger empfindlich macht.

Wir haben, wann immer dies möglich war, den Herzschrittmacher mit einer Silikon-Elektrode verbunden. Bei bipolaren Schrittmachern

mußten wir jedoch zum Teil auf Polyurethan-Elektroden zurückgreifen, da entsprechende Silikon-Elektroden uns nicht zur Verfügung standen. Die rechnerisch prognostizierte höhere Empfindlichkeit der Silikonelektroden gegenüber Störungen, dies sei hier bereits vorweggenommen, konnte im Versuch bestätigt werden.

## 2.4 Vorgehensweise bei der Messung

Zunächst wurde bei minimalem Abstand zwischen Schrittmacher und Antenne der Schrittmacher freilaufend getestet. Dazu wurde das Mobilfunkgerät in Betrieb genommen und beobachtet, ob der Schrittmacher in der Weise beeinflusst wurde, daß er dauerhaft oder kurzzeitig inhibiert bzw. synchronisiert wurde. War dies der Fall, wurde der Abstand so lange vergrößert, bis der entsprechende Test negativ ausfiel. Dieses Vorgehen wurde nacheinander beim gleichen Schrittmacher mit Geräten des C-, D- und E-Funks durchgeführt.

Dann wurde der Schrittmacher entsprechend der Norm [14] durch ein negatives, asymmetrisches Dreieckssignal von 2 ms Abfallszeit und 13 ms Anstiegszeit, dessen Amplitude der dop-

Tabelle 1: Vergleich der gerechneten Dämpfung (in m<sup>-1</sup>) (5 Ωm bezieht sich auf eine entsprechende NaCl-Lösung)

Elektrode	Frequenzen		
	100 MHz	300 MHz	1000 MHz
Silikon, 5 Ωm	0,74	2,0	6,2
Silikon, Muskel	0,74	2,0	6,2
Polyurethan, 5 Ωm	1,2	3,3	10,0
Polyurethan, Muskel	1,0	2,7	9,0
PVC isol. Litze, 5 Ωm	1,6	6,0	25,0



pelten Wahrnehmungsschwelle entsprach, inhibiert. Der Test wurde, wie oben beschrieben, in der gleichen Weise wiederholt, und es wurde danach gefragt, ob sich nun der Schrittmacher auf Störfrequenz umschalten ließ.

Für beide Tests wurde der maximale Abstand, bei dem der Schrittmacher sich so gerade noch beeinflussen ließ, als charakteristische Größe für die Störbeeinflussung unter den gegebenen Versuchsbedingungen erfaßt und in die Ergebnistabelle eingetragen. Dieser Wert wird als „maximale Stördistanz“ definiert und im folgenden als charakteristische Größe für die Störanfälligkeit eines Schrittmachers benutzt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Berechnung der Stördistanz als Funktion der Sendeleistung

Für zwei empfindliche Schrittmacher wurde mit Hilfe des Testsenders CMD 55 aufgenommen, bei welcher Leistung sich welche maximale Stördistanz ergab. Im doppelt logarithmischen Maßstab stellte sich dieser Zusammenhang als gerade Linie dar (siehe Abbildung 3), deren Steilheit über die zwei Kurven gemittelt ziemlich genau 0,33 betrug. Dies bedeutet aber, daß bei einem störanfälligen Schrittmacher die maximale Stördistanz mit der dritten Wurzel der Sendeleistung steigt. Da wir im D-Netz ausschließlich mit einem Portable-Gerät mit einer Ausgangsleistung von etwa 7 W gemessen haben (ein Handy stand

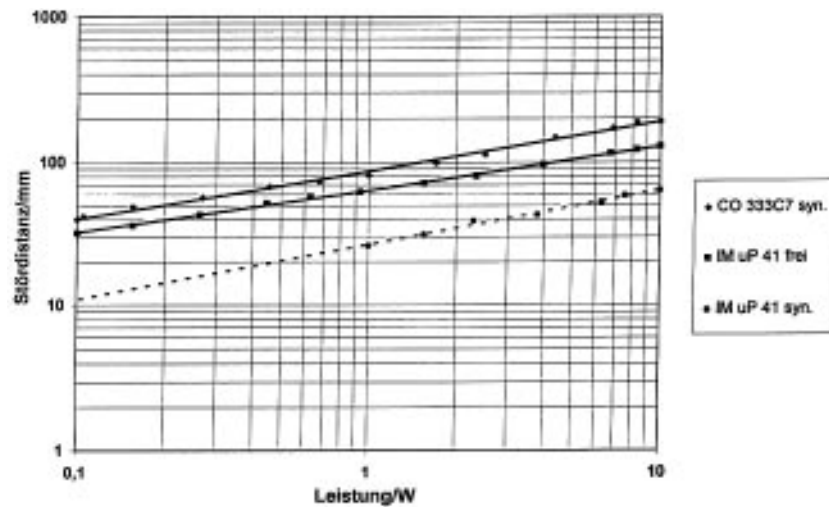


Abbildung 3: Abhängigkeit der maximalen Stördistanz für 2 SM-Typen von der Sendeleistung (der Abstand wurde von der Schrittmacheroberfläche aus bestimmt)

uns nicht zur Verfügung), ergab sich mit diesem Befund die Möglichkeit, aus einem Wertepaar jedes beliebige andere zu errechnen (siehe Anhang 5.1.1).

Da es unwahrscheinlich ist, daß ein Handy nur 10 mm von der Körperoberfläche entfernt und genau in Richtung der Elektrode angeordnet ist, kann diese Bedingung als Handy-Grenzwert angesehen werden. Dem entspricht beim einem 7-W-Gerät ein Grenzwert von 25,5 mm (siehe Anhang 5.1.2), der jedoch von einem Portable praktisch nicht aufgrund der Dimensionen und der Handhabung des Gerätes erreicht werden kann. Daraus folgt, daß die Handys wegen ihrer möglichen Körpernähe im Grunde als für Herzschrittmacher kritischer angesehen werden müssen als Portables.

Für die weitere Auswertung sind wir davon ausgegangen, daß ein Schrittmacher als durch ein Handy nicht störfähig beurteilt werden

muß, wenn er in besagtem Minimalabstand von 10 mm von der Wasseroberfläche nicht zu beeinflussen war. Entsprechend haben wir für ein transportables Gerät den Minimalabstand bei 50 mm festgelegt, oberhalb dessen ein Schrittmacher gestört werden muß, um ihn als durch Portables störfähig anzusehen. Die Abhängigkeit der maximalen Stördistanz von der dritten Wurzel der Leistung (siehe Anhang 5.1.1) ist zusammen mit unserer Grenzwertfestlegung der Grund dafür, daß Schrittmacher von Portables weniger zu stören sind als von Handys.

### 3.2 Störbeeinflussung durch Demodulationsprodukte

Leitet man vom Eingang eines Schrittmachers niederfrequenzmäßig die Signale ab, die aufgrund der Hochfrequenzstrahlung dort entstehen, erkennt man deutlich die Demodu-

lation der gepulsten Signale an nicht-linearen Kennlinien. Wird dieses Demodulationsprodukt dann weiterhin über einen Bandpaß gegeben, wie er üblicherweise in Herzschrittmachern vorhanden ist, erkennt man beeindruckend den Zusammenhang zwischen Hochfrequenzeinstrahlung und Störmöglichkeit (siehe Abbildung 4). Vor allem in der Betriebsart DTX zeigt sich, daß bei niedriger oberer Grenzfrequenz eines Schrittmachers die alle 0,5 s auftretenden Impulsgruppen wie ein Rechtecksignal höherer Amplitude aussehen verglichen mit den anderen, mit 8 Hz auftretenden Impulsen. Dieser Befund macht verständlich, warum im DTX-Modus der freilaufende Schrittmacher empfindlicher reagiert als der durch Testsignale inhibierte Schrittmacher. Bei ihm müssen nämlich die mit 8 Hz auftretenden Impulse die Intensität erreicht haben, die ihn auf „Störfrequenz“ umschalten lassen.

### 3.3 Sendeleistung und programmierte Empfindlichkeit

Bei drei empfindlichen Schrittmachern wurde aufgenommen, wie sich die maximale Stördistanz in Abhängigkeit von der Wahrnehmungsschwelle veränderte. In allen drei Fällen ergab sich, daß der Zusammenhang zwischen Abstand und Störschwelle im doppelt logarithmischen Maßstab eine gerade Linie ergab, die Steilheit allerdings jetzt negativ war und bei 0,33 lag. Daraus kann man folgern, daß die maximale Stördistanz umgekehrt proportional zur dritten Wurzel aus der Wahrnehmungsschwelle ist (siehe Anhang 5.1.3).

Wenn man bei konstanter Wahrnehmungsschwelle annehmen kann, daß die maximale Stördistanz proportional zur dritten Wurzel aus der Sendeleistung und bei konstanter Leistung der Abstand proportional zum Kehrwert der dritten Wurzel aus der Wahrnehmungsschwelle ist, kann man folgern, daß die maximale Stördistanz proportional zur dritten Wurzel aus dem Verhältnis von Leistung zu Störschwelle ist. Nimmt man jetzt die Stördistanz als konstant an, muß die Wahrnehmungsschwelle zur Sendeleistung proportional sein (siehe Anhang 5.1.4).

In diesem Befund liegt eine wichtige Erkenntnis. Läßt sich nämlich ein Schrittmacher bei weniger als 2 W stören, so muß seine Wahrnehmungsschwelle in demselben Maße erhöht werden, wie sich aus dem Verhältnis 2 W zu der Leistung bei minimalem

Störabstand ergibt, um ihn unempfindlich werden zu lassen.

### 3.4 Messungen an 231 Schrittmachern

Die Tabellen 2 und 3 enthalten die wichtigsten Ergebnisse der Messungen, die an 231 verschiedenen Schrittmachertypen durchgeführt wurden. Die maximalen Stördistanzen im D-Netz für eine Leistung von 2 W wurden aus den Meßergebnissen bei 7 W berechnet (siehe Kapitel 3.1). Im C-Netz war eine Beeinflussung nur während des Wählvorganges zu beobachten, die während des Gesprächs noch vorhandene Amplitudenmodulation reicht nicht aus, um die Schrittmacher zu stören. Im E-Netz konnte kein Schrittmacher beeinflusst werden, was nicht nur mit der geringeren Leistung und der bei der doppelten Frequenz von 1,8 GHz nochmals verringerten Eindringtiefe zusammenhängt, sondern auch durch

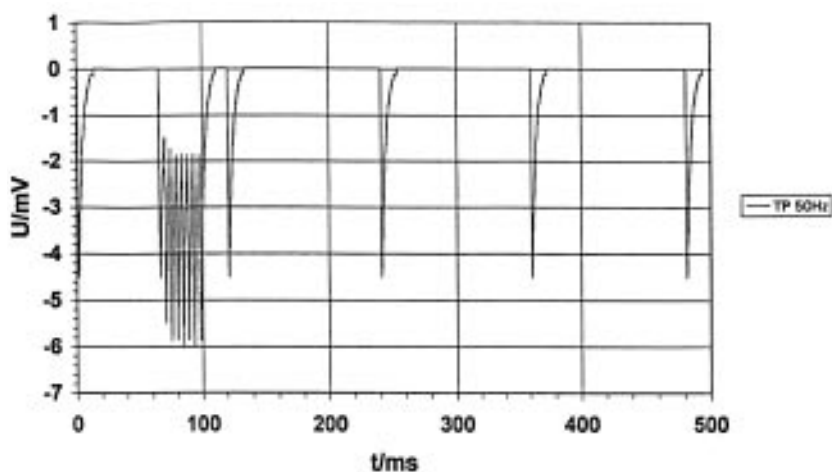
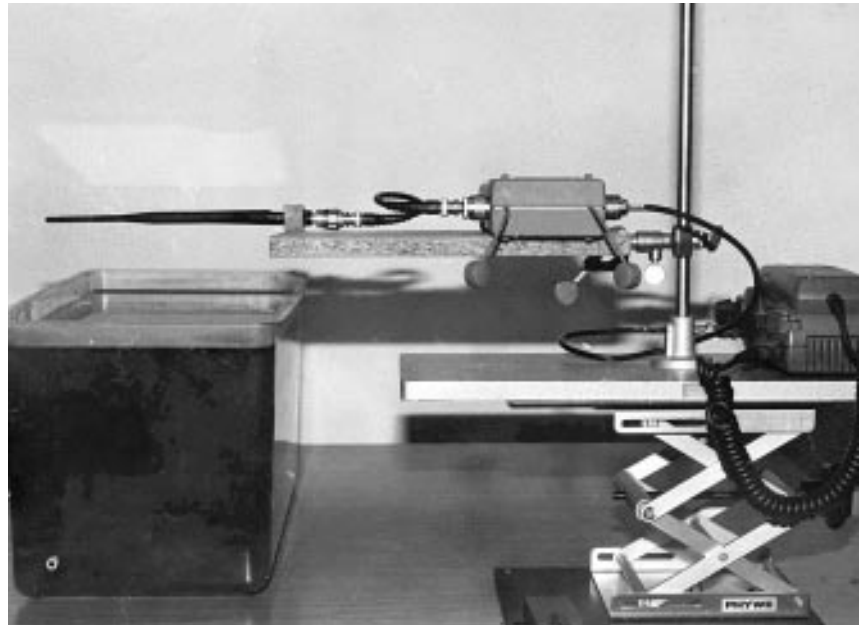


Abbildung 4: Demodulationsprodukte gemessen am Schrittmachereingang und mit einem Tiefpaß von 50 Hz gefiltert während DTX-Betrieb

Die Anordnung des Geräteaufbaus, wie sie zum Ausmessen der „maximalen Stördistanz“ benutzt wurde.



höhere Reflexion an der Oberfläche und größere Dämpfung auf der Leitung zu erklären ist. Vermutlich dürfte auch die am Eingang des Schrittmachers auftretende Spannung bei dieser Frequenz durch kapazitive Elemente gegenüber dem D-Netz doppelt stark gedämpft werden. Aufnahmen des Demodulationsproduktes beim E-Netz zeigen, daß die Amplituden des Demodulationsproduktes zwischen 10- und 20-fach niedriger sind als im D-Netz. Die Meßergebnisse sind außer nach Schrittmacherfabrikat (Tabelle 2) auch nach maximaler Stördistanz sortiert worden (Tabelle 3). Die rechte Spalte enthält die Anzahl der von uns geschätzten Patienten (siehe Anhang 5.2), die heute noch mit diesem Modell leben dürften.

Von den 231 untersuchten Modellen lassen sich 71 (30,7 %) durch C-Funk, 79 (34,2 %) durch D-Funk beeinflussen (siehe Tabelle 5). Bemerkenswert ist, daß der am emp-

findlichsten auf C-Funk reagierende Schrittmacher mit einer Stördistanz von 334 mm beim D-Funk mit 45 mm erst an 22. Stelle lag. Dagegen lag der empfindlichste D-Funk-Schrittmacher – mit einer Stördistanz von 189 mm – im C-Netz mit 103 mm an 9. Stelle. 32 Schrittmacher wurden durch D-, jedoch nicht durch C-Netz beeinflusst, während umgekehrt 24 Schrittmacher auf C-, aber nicht auf D-Netz reagierten (siehe auch Tabelle 5).

Sowohl im C- als auch im D-Netz ist die maximale Stördistanz des jeweils empfindlichsten Schrittmachers in synchronisiertem Betrieb (der Schrittmacher wird durch ein Testsignal zum Schweißen gebracht) geringer als freilaufend. Für C-Netz ergeben sich 106 mm, für D-Netz 159 mm. Ein Schrittmacher ließ sich synchronisiert, jedoch nicht freilaufend stören. Bei vier Modellen war die Stördistanz bei Synchronisation größer als die bei freilaufendem

Betrieb. In den Tabellen 2 und 3 wurde jeweils die größere Stördistanz eingetragen.

Keines der Mobilfunkgeräte, also auch nicht die portablen C- und D-Telephone, waren in der Lage, die Schrittmacher bleibend zu beeinflussen. Mobilfunk kann damit keine Umprogrammierung von Schrittmachern bewirken, eine Befürchtung, die gelegentlich geäußert wurde.

## 4 Diskussion

### 4.1 Gefährdung von Schrittmacher-Patienten durch Mobilfunkgeräte

Wie bereits in Kapitel 3.4 angeführt, wurde kein Herzschrittmacher durch ein Mobilfunkgerät des E-Netzes, weder beim Gesprächsaufbau noch beim regulären Betrieb einschließlich DTX-Modus, beeinflusst.

# Diskussion

Gemessen von Antennenmitte bis Flüssigkeitsoberfläche						
				C 2W	D 2W	1994
Pos.	Fab	Typ	Jg	l/mm	l/mm	Patienten
1	AL	11	12		10	8
2	AL	20	12	81	59	
3	AL	21	12		6	62
4	AL	24	12		17	5
5	AL	25	11		13	19
6	AL	35	12		28	
7	AL	RDP2	12	43		
8	AL	RDP3	11	48		6
9	BI	Diplos 04(V)	11	86	85	1
10	BI	Diplos 05	11	91		325
11	BI	Diplos M05	6	33	104	525
12	BI	Ergos TC 03(V)	1		9	297
13	BI	Kalos 03-1	12	81	13	
14	BI	Kalos 03-2	12	86	18	31
15	BI	Kalos 04	10		45	920
16	BI	Kalos 05	5	29	22	492
17	BI	Leios 03	12	81	18	
18	BI	Leptos 01-1	12			1046
19	BI	Leptos 01-2	12			
20	BI	Leptos M01-1	10			232
21	BI	Leptos M01-2	10			
22	BI	Leukos 03-1	12	75	20	4
23	BI	Metros TC 01	1			391
24	BI	Mikros 02	8		13	1027
25	BI	Nanos 01	5		29	2731
26	BI	Neos 01-1	12			5675
27	BI	Neos 01-2	12			
28	BI	Neos 02	6			2281
29	BI	Neos LP01	7		13	505
30	BI	Neos LP01-2	7			
31	BI	Neos M01	7			1919
32	BI	Neos MLP01	7			678
33	BI	Physios	3			1191
34	BI	Physios TC 01(V)	1			6
35	BI	Pikos 01	3			3301
36	BI	Trios 01	8			2217
37	BI	Trios M01	8			880
38	BT	877	12	56	52	
39	BT	979	8			4
40	BT	Giotto 85M	7	74	21	460
41	CF	227	12			
42	CK	115	12			
43	CK	215	12			
44	CO	188A7	12	55		
45	CO	190F	12	445	45	
46	CO	217A	12	301	35	210
47	CO	237A	12	182		2
48	CO	242A7	12	116	17	0
49	CO	331A	10	126	68	123
50	CO	333C7	12	103	189	1
51	CO	334A	12	108	156	134
52	CO	337A	11	68	108	33
53	CO	342A7	12	79	80	
54	CO	402B	11			292
55	CO	415A(V)	10			15
56	CP	439	7	49		66
57	CP	443	6			320

58	CP	444	4			1265
59	CP	445	7			745
60	CP	446	4			6
61	CP	447	4			81
62	CP	538	7			270
63	CP	539	7	31		915
64	CP	938	4			57
65	EA	1370	7			196
66	EA	3003	5	100		246
67	EA	6035	3	57		222
68	EA	6530	12	122		
69	EA	7034(V)	3			152
70	IM	uP 20	8			93
71	IM	uP 30	8	60	93	166
72	IM	uP 41	7	106	74	90
73	IM	uP 61	7		51	330
74	IM	uP 71	4	83	58	71
75	IN	223	12		10	
76	IN	227	12		20	5
77	IN	229-01	12			
78	IN	233-05	12	45	21	
79	IN	235-01	10			91
80	IN	251-02	11	13		3
81	IN	253-04	12		19	4
82	IN	253-05	12	50	28	24
83	IN	253-07	12	26	8	4
84	IN	253-09	12			33
85	IN	253-19	11			603
86	IN	253-23	9			707
87	IN	253-25	7			1304
88	IN	254-31	3		15	1141
89	IN	259-01(V)	12			
90	IN	281-05	7	60	18	774
91	IN	283-01(V)	10			414
92	IN	284-05	6			1438
93	IN	294-03	4		16	1148
94	MC	403	12		40	
95	MD	5923	12			169
96	MD	5925	12			
97	MD	5927	12			
98	MD	5941	12			2919
99	MD	5966	10			0
100	MD	5967	12			298
101	MD	5983	12			21
102	MD	5985	12			1484
103	MD	5995	12			
104	MD	8320	7			37
105	MD	8329	7			501
106	MD	8330	4			776
107	MD	8331	5			1454
108	MD	8340	5			1253
109	MD	8341	5			2061
110	MD	8412	6		26	130
111	MD	8413	6		14	394
112	MD	8416	5			433
113	MD	8419	4			1068
114	MD	8420	10	21		309
115	MD	8423	12			3044
116	MD	8424	3		13	1232
117	MD	8426	2		14	29
118	MD	8437	9			731
119	MD	5940LP	10			332

120	MD	5984LP	11			86
121	MD	5989L	12			16
122	MD	7000A(V)	12			22
123	MD	7005C	10		8	382
124	MD	7006(V)	10			128
125	MD	7027(V)	5	83		121
126	MD	7071(V)	6	58	38	129
127	MD	7071M(V)	4	36		282
128	MD	7075(V)	4		11	276
129	MD	7077(V)	4		10	1060
130	MD	7084(V)	2	25	13	162
131	MD	7085(V)	2			47
132	MD	7100(V)	?			
133	MD	7107(V)	2	51	33	178
134	MD	7108(V)	3			1906
135	MD	8341M	5	41		1896
136	MD	8423M	4		13	650
137	MD	SP1010	9			29
138	OS	Acculith 100	7	61	33	76
139	OS	Acculith 102	9	73	31	101
140	OS	Acculith 104	9		21	104
141	OS	Acculith 3	12		113	221
142	OS	Acculith 51	12	37	76	65
143	OS	Acculith 52	12		73	314
144	OS	VITACOR	1	59	44	44
145	OS	VITACOR-E	1	54	155	74
146	PA	2008T	4			551
147	PA	2016T(V)	4			3059
148	PA	2022T(V)	3			1346
149	PA	225-6	12			
150	PA	241-6	10		38	1473
151	PA	AFP	11	35	34	29
152	PA	GENISIS 285K(V)	8			1303
153	PA	GENISIS(V)	8		18	
154	PA	PHOENIX	5			
155	PL	FP 05	10		38	13
156	PL	S 01	10	10	158	4
157	SO	610/A	10	103	20	30
158	SO	630/A	12	83	21	19
159	SO	LIT216	12			
160	SO	LIT222	12			
161	SO	ORION 30/A	10			532
162	SO	ORION 35	6			387
163	SO	Swing 100B	3			22
164	SP	629	12			378
165	SP	657	12	35	14	
166	SP	659	12			10
167	SP	668	12			688
168	SP	669	12			131
169	SP	674	12			22
170	SP	678	12			140
171	SP	686	11			1716
172	SP	689	9			336
173	SP	698	9			371
174	SP	718	11			290
175	SP	748	8		48	1476
176	SP	2033T	5			823
177	SP	2034K	5			810
178	SP	2037K	5	55		2174
179	SP	2037T	5			
180	SP	2038K	4			1461
181	SP	2040T	2			1151

182	SP	2049K	3			878
183	SP	608K	4			172
184	SP	658K	4		15	
185	SP	658M	4			610
186	SP	703S	7	69		380
187	SP	748k	8		28	1476
188	SP	MP688	11			1344
189	TE	158	9			1139
190	TE	161	12			
191	TE	174	12			681
192	TE	1202	7			366
193	TE	1204	4			198
194	TE	1206	1			165
195	TE	1210	1			
196	TE	1254	1			154
197	TE	8218	2			607
198	TE	8230	4			932
199	TE	1250H	1			27
200	TE	1256(A)	1	57		
201	TE	1256D	1			
202	TE	158B	8			395
203	TE	158C	7			398
204	TE	5281 A	9			161
205	TE	5281 C	6			144
206	TE	6291(V)	6			72
207	TE	8222(V)	4			186
208	TE	8224(V)	3			418
209	TE	9221(V)	5			435
210	TR	LCP201	?			
211	TR	MCP 201	?			
212	VI	Ceryx 111	7			101
213	VI	Ceryx 121	7	86	34	905
214	VI	Ceryx 123	5	88	23	267
215	VI	Ceryx 311	7	45		242
216	VI	Ceryx 321	7	68	23	2047
217	VI	Ceryx 323	5	61	75	2523
218	VI	Ceryx 323p	2	101	12	
219	VI	Ceryx 611	11	33		337
220	VI	Ceryx 614	9	46		19
221	VI	Ceryx 621	7	66	40	621
222	VI	Ceryx 623	5	81	41	623
223	VI	Ceryx 623p	2	101	36	
224	VI	Diamond 800(V)	1			170
225	VI	Finesse 201p	2	99	18	1675
226	VI	Onyx 101	8			416
227	VI	P4122	12			609
228	VI	PRIMO 205	2	78	15	295
229	VI	Quintech 911	11	67		88
230	VI	Quintech 915	9	188		188
231	VI	Topaz 515	2		46	525
					Pat. gesamt	142149
					gemessen	111811
						78,66%

Tabelle 2: Ergebnisse von Messungen an 231 Schrittmachertypen, nach Firmen geordnet

4. Spalte: Alter des Schrittmachers

5. Spalte: Maximalabstand in mm bei C-Netz

6. Spalte: Maximalabstand in mm bei D-Netz

7. Spalte: Geschätzte Anzahl der lebenden Patienten

# Diskussion

Gemessen von Antennenmitte bis Flüssigkeitsoberfläche						
				C 2W	D 2W	1994
Pos.	Fab	Typ	Jg	l/mm	l/mm	Patienten
50	CO	333C7	12	103	189	1
156	PL	S 01	10	10	158	4
51	CO	334A	12	108	156	134
145	OS	VITACOR-E	1	54	155	74
141	OS	Acculith 3	12		113	221
52	CO	337A	11	68	108	33
11	BI	Diplos M05	6	33	104	525
71	IM	uP 30	8	60	93	166
9	BI	Diplos 04(V)	11	86	85	1
53	CO	342A7	12	79	80	
142	OS	Acculith 51	12	37	76	65
217	VI	Ceryx 323	5	61	75	2523
72	IM	uP 41	7	106	74	90
143	OS	Acculith 52	12		73	314
49	CO	331A	10	126	68	123
2	AL	20	12	81	59	
74	IM	uP 71	4	83	58	71
38	BT	877	12	56	52	
73	IM	uP 61	7		51	330
175	SP	748	8		48	1476
231	VI	Topaz 515	2		46	525
45	CO	190F	12	445	45	
15	BI	Kalos 04	10		45	920
144	OS	VITACOR	1	59	44	44
222	VI	Ceryx 623	5	81	41	623
221	VI	Ceryx 621	7	66	40	621
94	MC	403	12		40	
126	MD	7071(V)	6	58	38	129
150	PA	241-6	10		38	1473
155	PL	FP 05	10		38	13
223	VI	Ceryx 623p	2	101	36	
46	CO	217A	12	301	35	210
213	VI	Ceryx 121	7	86	34	905
151	PA	AFP	11	35	34	29
138	OS	Acculith 100	7	61	33	76
133	MD	7107(V)	2	51	33	178
139	OS	Acculith 102	9	73	31	101
25	BI	Nanos 01	5		29	2731
82	IN	253-05	12	50	28	24
6	AL	35	12		28	
187	SP	748k	8		28	1476
110	MD	8412	6		26	130
214	VI	Ceryx 123	5	88	23	267
216	VI	Ceryx 321	7	68	23	2047
16	BI	Kalos 05	5	29	22	492
158	SO	630/A	12	83	21	19
40	BT	Giotto 85M	7	74	21	460
78	IN	233-05	12	45	21	
140	OS	Acculith 104	9		21	104
157	SO	610/A	10	103	20	30
22	BI	Leukos 03-1	12	75	20	4
76	IN	227	12		20	5
81	IN	253-04	12		19	4

225	VI	Finesse 201p	2	99	18	1675
14	BI	Kalos 03-2	12	86	18	31
17	BI	Leios 03	12	81	18	
90	IN	281-05	7	60	18	774
153	PA	GENISIS(V)	8		18	
48	CO	242A7	12	116	17	0
4	AL	24	12		17	5
93	IN	294-03	4		16	1148
228	VI	PRIMO 205	2	78	15	295
88	IN	254-31	3		15	1141
184	SP	658K	4		15	
165	SP	657	12	35	14	
111	MD	8413	6		14	394
117	MD	8426	2		14	29
13	BI	Kalos 03-1	12	81	13	
130	MD	7084(V)	2	25	13	162
5	AL	25	11		13	19
24	BI	Mikros 02	8		13	1027
29	BI	Neos LP01	7		13	505
116	MD	8424	3		13	1232
136	MD	8423M	4		13	650
218	VI	Ceryx 323p	2	101	12	
128	MD	7075(V)	4		11	276
1	AL	11	12		10	8
75	IN	223	12		10	
129	MD	7077(V)	4		10	1060
230	VI	Quintech 915	9	188		188
47	CO	237A	12	182		2
68	EA	6530	12	122		
66	EA	3003	5	100		246
10	BI	Diplos 05	11	91		325
125	MD	7027(V)	5	83		121
186	SP	703S	7	69		380
229	VI	Quintech 911	11	67		88
67	EA	6035	3	57		222
200	TE	1256(A)	1	57		
44	CO	188A7	12	55		
178	SP	2037K	5	55		2174
56	CP	439	7	49		66
8	AL	RDP3	11	48		6
220	VI	Ceryx 614	9	46		19
215	VI	Ceryx 311	7	45		242
7	AL	RDP2	12	43		
135	MD	8341M	5	41		1896
127	MD	7071M(V)	4	36		282
219	VI	Ceryx 611	11	33		337
63	CP	539	7	31		915
83	IN	253-07	12	26		4
114	MD	8420	10	21		309
80	IN	251-02	11	13		3

Tabelle 3: Ergebnisse von Messungen an 231 Schrittmachertypen, nach Empfindlichkeit geordnet

1. Spalte: Numerierung nach Tabelle 2
4. Spalte: Alter des Schrittmachers
5. Spalte: Maximalabstand in mm bei C-Netz
6. Spalte: Maximalabstand in mm bei D-Netz
7. Spalte: Geschätzte Anzahl der lebenden Patienten

Herstellercode	
AL	Alpha
BI	Biotronik
BT	Biotec
CF	Cardiofrance
CO	Cordis
CP	Cardiac Pacemaker Inc.
EA	L'Elektronique Appliquee
IM	Implantronic
IN	Intermedics
MC	Medcor / Haig
MD	Medtronic
OS	Osyka
PA	Pacsetter
PL	Pacelab
SO	Sorin
SP	Siemens Pacesetter
TE	Telectronics
TR	TuR Transformatoren & Röntgenwerke
VI	Vitatron

Tabelle 4: Erklärung der Herstellerkürzel in den Tabellen 2 und 3

Mit Geräten des C-Netzes konnte hingegen während des Wählvorgangs ein freilaufender Herzschrittmacher gelegentlich bis zu 5 verlängerte Intervalle zwischen zwei Stimulationsimpulsen aufweisen. Bei insgesamt fünf störenden C-Funk-Impulsen während des Gesprächsaufbaus können je nach Schrittmacherperiodendauer und Refraktärzeit Pausen von bis zum Zweifachen der Periodendauer auftreten. Modellrechnungen ergeben, daß ungünstigstenfalls bei einer programmierten Schrittmacherfrequenz von

- 72 min<sup>-1</sup> über 9,6 s die Frequenz auf 63 min<sup>-1</sup>, bei
- 70 min<sup>-1</sup> über 10,5 s die Frequenz auf 46 min<sup>-1</sup>, und bei
- 60 min<sup>-1</sup> über 10,8 s die Frequenz auf 44 min<sup>-1</sup>

abgesenkt werden kann. Bezieht man die Schlagfrequenz nicht auf die Zeitdauer des Ge-

	alle		1 - 6 Jahre		7 - 12 Jahre	
Gemessene Schrittmacher	231		83		148	
entsprechende Patientenzahl	111.811		55.877		55.934	
	SM	Pat	SM	Pat	SM	Pat
1) durch C-Funk alleine	10,4 %	7,0 %	8,4 %	8,8 %	11,5 %	5,2 %
2) durch D-Funk alleine	15,2 %	15,4 %	14,5 %	16,7 %	13,5 %	14,1 %
3) durch C- + D-Funk	20,4 %	11,6 %	18,1 %	12,6 %	21,6 %	10,6 %
4) Summe 1) und 3)	30,7 %	18,6 %	26,5 %	21,5 %	33,1 %	15,8 %
5) Summe 2) und 3)	34,2 %	27,0 %	32,5 %	29,3 %	35,1 %	24,8 %

Tabelle 5: Aufschlüsselung der Störkollektive

sprachsaufbaus, sondern wie in der Medizin üblich auf 1 Minute, so ergibt sich 70 statt 72 min<sup>-1</sup> und 67,7 statt 70 min<sup>-1</sup> oder auch 57 statt 60 min<sup>-1</sup>.

Dagegen war ein inhibierter Schrittmacher durch dieses Phänomen nicht zu stören. Aus diesem Grunde kann man sagen, daß das C-Netz zwar Herzschrittmacher beeinflussen kann, eine nennenswerte Beeinträchtigung entsteht jedoch daraus nicht, wie 24-Stunden-EKG's bei Herzschrittmachertägern ergeben haben [2]. Dort zeigte sich, daß bei Schrittmacherpatienten beispielsweise durch Muskelsignale verlängerte Intervalle von bis zu 3 s auftraten, ohne daß der Patient dies bemerkte.

Durch D-Netz-Mobilfunkgeräte ist tatsächlich die Störung eines Schrittmachers in der Weise möglich, daß während der gesamten Zeit, in der beim Gesprächsaufbau oder in der DTX-Betriebsart (wenn der Benutzer schweigend zuhört, wird die Impulsfrequenz von 217 auf 2 Hz überlagert von 8 Hz zurückgefahren) gesendet wird, ein Schrittmacher zum Schweigen zu bringen ist. Die Gefährdung

eines Schrittmacher-Patienten setzt also voraus, daß er ein D-Netz-Handy näher als 20 cm (siehe Tabelle 3) an das Schrittmachersystem heranbringt und er dann schweigend zuhört, wobei er gleichzeitig Schrittmacherabhängig sein muß. In diesem Fall wäre mit einem Schwindel- oder einem Ohnmachtsanfall zu rechnen.

Braucht der Schrittmacher-Patient während eines Telefongesprächs seinen Schrittmacher nicht, weil er ausreichenden Eigenrhythmus hat, wäre die Störmöglichkeit in der Weise gegeben, daß während des regulären Betriebs einschließlich DTX-Modus der Schrittmacher zum Umschalten auf Störfrequenz gebracht wird, wobei er dann Parasystolien zwischen Eigen- und Schrittmacherrhythmus erfahren würde. Es sei daran erinnert, daß in dieser Situation der allerdings selten auftretende Fall des Kammerflimmer-Auslösens durch einen Stimulationsimpuls in die vulnerable Phase möglich ist.

D-Netz-Mobilfunkgeräte stellen also unter gewissen Bedingungen sowohl für den Schrittmacher-

macher abhängigen Patienten als auch den Schrittmacher-Patienten mit Eigenrhythmus eine Gefährdung dar.

## 4.2 Gefährdung und Sicherheitsabstände

Bei Handys, die im D-Netz auf maximal 2 W Sendeleistung begrenzt sind, kann man aus der Tabelle 3 entnehmen, daß kein von uns untersuchter Schrittmacher oberhalb von 20 cm mehr gestört werden konnte. Nehmen wir ferner noch an, daß dieser empfindlichste Schrittmacher mit größter Stördistanz noch in seiner Wahrnehmungsschwelle halbiert werden könnte, so ergibt sich die dann beeinflussende Maximaldistanz mit 25 cm (siehe Anhang 5.1.3). Daraus folgt die Handlungsanweisung, daß sich Schrittmacher-Patienten dann außerhalb des Störbereiches bei Handgeräten befinden, wenn der Abstand zwischen der *Antenne* und dem Herzschrittmacher mehr als 25 cm beträgt. Bei den tragbaren D-Funk-Geräten wäre ein entsprechender Sicherheitsabstand mit etwa 40 cm anzusetzen (siehe Anhang 5.1.3). Ein Schrittmacher-Patient braucht also keine Angst vor einem D-Netz-Gerät zu haben, solange mindestens ein Abstand von einem halben Meter zwischen ihm und der Antenne besteht.

## 4.3 Anzahl der durch Mobilfunk betroffenen Schrittmacher-Patienten

Um die Frage beantworten zu können, wie groß der Anteil der beeinflussbaren Schrittmacher ist und wie viele Patienten im Ge-

samtkollektiv davon betroffen werden, müssen zwei Annahmen getätigt werden.

### 1. Annahme:

Das von uns untersuchte Schrittmacherkollektiv entspricht dem Gesamtkollektiv aller in der Bundesrepublik Deutschland (alte und neue Bundesländer) implantierten Schrittmacher, jedenfalls unter dem Gesichtspunkt der Störbeeinflussbarkeit durch Mobilfunkgeräte. Sie ist insofern berechtigt, als sich im Hinblick auf das Störverhalten aus unseren Untersuchungen kein großer Unterschied zwischen neueren und älteren Schrittmachern ergeben hat (siehe Kapitel 4.5).

### 2. Annahme:

Die Anzahl der einzelnen Schrittmacher sowie die Gesamtzahl der Patienten entspricht den Werten, die wir aus den Daten des Deutschen Zentralregisters Herzschrittmacher\* ermittelt haben.

Dies bedeutet, daß die uns im Laufe der Jahre (seit 1983) gemeldeten Implantationen repräsentativ für die Gesamtheit sind. Da dem Zentralregister vor 1983 keine Informationen über die damals benutzten Typen und deren Menge vorliegen, besitzen wir für die heute 12 und mehr Jahre alten Schrittmacher keine Angaben. Dieses Kollektiv macht etwa 15 % des Gesamtkollektivs aus. Gleichermaßen müssen wir einschränken, daß uns erst seit etwa 4 Jahren erste Informa-

tionen aus den neuen Bundesländern zugehen. Alles, was davor implantiert wurde, kann sich bezüglich der Störbeeinflussbarkeit durch Mobilfunk von der Allgemeinheit unterscheiden.

Von den 231 von uns untersuchten Schrittmachertypen ließen sich unter Annahme des minimalen möglichen Abstands für Handys von 10 mm insgesamt 106 Schrittmacher durch C- und D-Funkgeräte beeinflussen, entsprechend 45,9 %. Die 231 Typen repräsentieren jedoch nach unserer Hochrechnung 111.811 Schrittmacher-Patienten (siehe Anhang 5.2), hingegen stehen die 106 beeinflussbaren Typen für 38.049 Schrittmacher, woraus sich errechnen läßt, daß 34,0 % aller Patienten, die durch unser Untersuchungsgut von 231 Schrittmachertypen repräsentiert werden, als durch Mobilfunkgeräte im C- und D-Netz beeinflussbar gelten müssen. Mit Annahme 1 läßt sich dies auf die Gesamtheit hochrechnen, und man erhält als Ergebnis, daß rund 70.700 Herzschrittmacher-Patienten von 205.000 (geschätzte Gesamtzahl für die Bundesrepublik und 1994) mit Beeinflussung durch Mobilfunkgeräte rechnen müssen.

Die vorangegangene Betrachtung summierte alle mit C- und D-Netz beeinflussbaren Schrittmacher auf. Die sich daraus ergebenden Zahlen von z.B. 34 % aller Patienten sind jedoch insofern unrealistisch, als ja nicht al-

---

\* *Das Deutsche Zentralregister Herzschrittmacher ist dem Institut für Medizinische Technik angegliedert*



le Patienten gleichzeitig von C- und D-Geräten bedroht werden. Fragt man vielmehr danach, wie die beiden Netze jeweils beeinflussen, gibt Tabelle 5 darüber Auskunft. Interessant dürfte auch folgende Unterscheidung sein: Nur durch C-Funkgeräte wurden 10,4 % und nur durch D-Funkgeräte wurden 15,2 % der getesteten Schrittmacher beeinflusst. Hingegen waren sowohl von C- als auch von D-Funk die Mehrheit, also 20,4 % aller Geräte betroffen. Will man nun wissen, wie viele Schrittmacher bzw. deren Träger entweder durch C- oder durch D-Funkgeräte gestört werden, geben die Zeilen 4) und 5) und die erste Spalte der Tabelle 5 Auskunft. Durch C-Funkgeräte werden 30,7 % der getesteten Schrittmacher gestört, dem entspricht ein Patientenanteil von 18,6 %. Das Ergebnis für den D-Funk lautet: 34,2 % der Schrittmacher sind beeinflussbar mit einem entsprechenden Patientenkollektiv von 27 %. Offensichtlich sind die stör anfälligen Schrittmachertypen weniger implantiert worden oder sie sind durch Erschöpfung der Batterien oder durch Tod des Patienten in ihrer Zahl reduziert worden (siehe dazu auch Kapitel 4.4).

### 4.4 Störbeeinflussung und Schrittmacheralter

Um der Frage nachzugehen, ob die festgestellte Störbeeinflussung vom Alter der Schrittmacher abhängt, haben wir aus dem Gesamtkollektiv zwei Teilkollektive gebildet, die man als jung (1 bis 6 Jahre Implantationszeit) und alt (7 Jahre und älter) bezeichnen kann. Tabelle 5 zeigt die Kollektivgröße, die dadurch repräsen-

tierten Patientenzahlen sowie die durch C- und D-Funkgeräte gestörten Schrittmacher (in Prozent ausgedrückt). 83 „junge“ Modelle stehen 148 „alten“ gegenüber und beweisen, daß unser Testkollektiv wesentlich durch „alte“ Schrittmacher bestimmt wird. Um der dadurch bewirkten Verzerrung der Ergebnisse zu begegnen, ist es sinnvoll, die durch die Typen repräsentierten Patienten einzuführen. Unter diesem Gesichtspunkt sind das „alte“ und „junge“ Patientenkollektiv gleichmächtig (knapp 56.000). In den fünf in Tabelle 5 aufgelisteten Zeilen sind die älteren Typen zwar im Mittel um 2,9 % ( $\pm 2,4$  %) häufiger gestört worden, die sie repräsentierenden Patientenzahlen sind jedoch stets kleiner. Daraus können zwei Schlüsse gezogen werden:

- 1) Ältere Schrittmachertypen sind etwas anfälliger gegenüber Mobilfunktelefonen als jüngere.
- 2) Offensichtlich sind es die ältesten unter den alten Typen, die am empfindlichsten reagierten. Durch die langen Implantationszeiten wurde ihr Einfluß in den Patientenzahlen so reduziert, daß daraus ihr Absinken unter die Anteile des „jungen“ Kollektivs fiel.

Unsere Untersuchung zeigt jedenfalls, daß die häufig von Herstellern abgegebene Erklärung, „diese Modelle seien uralt“, nicht so interpretiert werden darf, als seien die neuen Schrittmacher in ihrem Störverhalten deutlich besser. Da offensichtlich die Störimmunität gegenüber Mobilfunkgeräten kein Design-

Kriterium ist, dürfte die in Tabelle 5 angedeutete leichte Verbesserung auf die Größenreduktion der Schrittmacher in den letzten 12 Jahren zurückzuführen sein.

### 4.5 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Ursprünglich hatten wir geplant, von einem störbaren Modell mehrere Exemplare zu testen, um so einen Eindruck von der Reproduzierbarkeit unserer Ergebnisse zu erhalten. Wir haben jedoch schnell eingesehen, daß dies keine sinnvolle Untersuchung ergibt. Während sich bei einigen Modellen eine Störinzidenz ergab, die innerhalb von  $\pm 20$  % eingehalten wurde, waren die Ergebnisse bei zwei anderen Modellen so, daß sich je ein Exemplar stören ließ (mit immerhin 45 bzw. 46 mm Distanz), die anderen dagegen nicht. Daraus ergibt sich die berechnete Frage, wie repräsentativ unsere Untersuchung denn ist. Wie hätten die gleichen Typen, jedoch andere Exemplare im Test abgeschnitten? Dies zu beantworten, hätte eine komplette zweite Untersuchung notwendig gemacht, für die wir jedoch weder die entsprechenden Exemplare noch die Zeit gehabt hätten. Trotzdem glauben wir, daß das sich in unserer Statistik nach Tabelle 5 ergebende Bild einigermaßen realistisch und eher zu pessimistisch ist. Dies liegt daran, daß wir bei mehrfach getesteten Exemplaren eines Typs jeweils den empfindlichsten in Tabelle 2, 3 und 5 berücksichtigt haben.

Diese Überlegung führt auch dazu, daß man die Tabelle 3 zurückhaltend interpretieren

sollte. Ein dort aufgeführter Typ mit Stördistanz kann, muß jedoch nicht durch Mobilfunkgeräte gestört werden. Die Umkehrung gilt gleichermaßen: Wenn ein Typ in unserem Test unbeeinflusst blieb, kann dies nicht mit Sicherheit auf andere Exemplare des gleichen Typs übertragen werden.

## 4.6 Störbeeinflussung und Schrittmacherfabrikat

Analysiert man die durch D-Netz-Geräte störbaren Typen genauer, findet man:

- 1) Von den 20 Fabrikaten sind sechs ohne beeinflussbare Schrittmacher mit insgesamt 40 Modellen.
- 2) Bei weiteren sechs Fabrikaten ist die Mehrheit der untersuchten Modelle nicht störbare.
- 3) Bei elf Fabrikaten fanden wir sowohl störbare als auch nicht störbare Schrittmacher.
- 4) Unter den 20 Herstellern gibt es drei, deren sämtliche Typen beeinflussbar sind.
- 5) Nur sieben von 79 Modellen lassen sich durch 2-W-Handys in einem Abstand zwischen 10 und 20 cm stören, dagegen lautet die Zahl der zwischen 1 und 10 cm beeinflussbaren Modelle 72.
- 6) Die sieben Modelle mit einer maximalen Stördistanz zwischen 10 und 20 cm repräsentieren eine Patientenzahl von 990, das sind gerade 0,9 % aller Patienten.

Wie bereits ausgeführt, erwiesen sich von den 20 untersuchten Schrittmacherfabrikaten sechs bei allen Messungen gegenüber D-Mobilfunkgeräten als immun, jedoch nur drei davon auch gegenüber C-Funkgeräten. Bei diesen drei Fabrikaten konnten allerdings nur ein oder zwei Exemplare gemessen werden.

Wir sind der Frage nachgegangen, woran dies vielleicht liegen könnte. Bei etwa 300 Herzschrittmachern haben wir die Eingangskapazität, die für das Abblocken der hochfrequenten Spannung verantwortlich ist, versucht zu messen. Abbildung 5 zeigt, wie die Kapazitätsverteilung bei den gemessenen Exemplaren streut. Rund 30 % aller Schrittmacher besitzen eine Eingangskapazität von 1 nF oder weniger. Die niedrigste Kapazität wurde mit 60 pF ausgemessen. Fragt man danach, wie die Störbarkeit von Schrittmachern mit der Eingangskapazität korreliert ist, ergibt sich Abbildung 6, die einen gewissen Zusammenhang erkennen, aber auch klar werden läßt, daß die Kapazität

nicht der einzige dafür verantwortliche Parameter sein kann. Bei einem der Hersteller, dessen Schrittmacher nicht zu stören waren, haben wir festgestellt, daß dort ein Hochfrequenzkondensator unmittelbar an der Durchführung im Gehäuse angebracht ist. Andere Fabrikate hingegen schließen den Deckel mit Durchführung über längere (5-7 cm) Litzen an Punkte im Inneren der Schaltung an. Selbst wenn dort ein Kondensator sitzen sollte, wird aufgrund des Kurzschlußstromes ein Magnetfeld innerhalb der Gehäuseabschirmung aufgebaut, das offensichtlich wirksam werden kann. Da diese Litzen häufig per Hand zu einer Schlinge geformt werden, kann sich daraus sehr wohl die beobachtete Streuung unter sonst gleichen Modellen ergeben. Die Tatsache, daß außer den sechs erwähnten Herstellern alle anderen sowohl störbare als auch nicht störbare Schrittmacher konstruiert haben, läßt darauf schließen, daß die Störsensitivität im Höchstfrequenzbereich offensichtlich kein Design-Kriterium ist. Ebenso

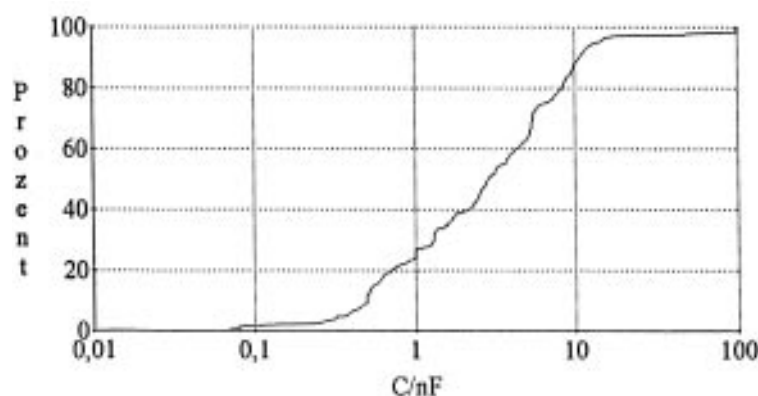
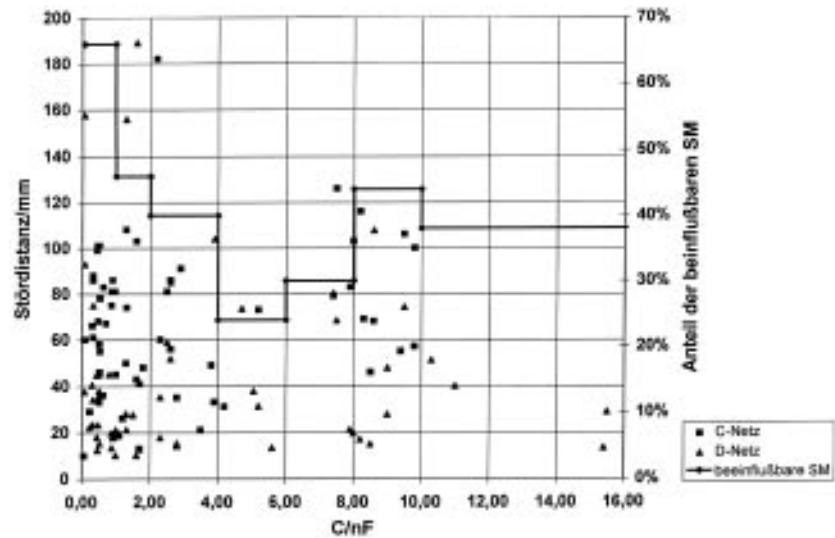


Abbildung 5: Summenhäufigkeitsverteilung der Eingangskapazitäten

Abbildung 6: Stördistanz und Anteil der beeinflussbaren Schrittmacher in einer Klasse als Funktion der Eingangskapazität:

Die Klasse 0 bis 1 nF hat mit 65 % den höchsten Anteil an störbaren Schrittmachern, bei 4 bis 6 nF ist er am kleinsten mit 24 %. Die oberhalb von 6 nF wieder ansteigende Beeinflussbarkeit zeigt an, daß dieses Phänomen nicht allein vom Eingangskondensator bestimmt wird.



deutlich wird aber auch, daß es wohl nicht allzu schwierig sein dürfte, Herzschrittmacher resistent gegenüber Mobilfunk zu machen.

Hätte man in der Vergangenheit aufgrund der jetzt vorliegenden Erkenntnisse alle störempfindlichen Schrittmacher eliminiert, wäre daraus für die Schrittmacher-Patienten kein großer Nachteil entstanden; denn unter den nicht störbaren Elementen hätte man eine breite Palette aller möglichen Betriebsarten und Versionen beschaffen können. Es kann also nicht die Rede davon sein, daß eine Verbesserung des Störverhaltens eine Reduktion in der Qualität als Schrittmacher bedeuten würde, wie dies schon einmal aus Herstellerkreisen verlautete.

## 4.7 Ratschläge für Arzt und Patient

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß ein Schrittmacher-

Patient gegenüber einem Handy als sicher anzusehen ist, wenn der Abstand zu seinem Schrittmachersystem 25 cm und mehr beträgt. Beim Portable ist dies bei einem Abstand von 40 cm und mehr der Fall. Daraus dürfte sich eine verhältnismäßig große Sicherheit für den Patienten deshalb ergeben, als diese Art von Störsendern ja deutlich zu identifizieren ist, es sei denn, sie befände sich in der Jackentasche eines Nachbarn. Soll man nun dem Schrittmacher-Patienten die Benutzung des Mobilfunks selbst verbieten? Wir sind der Meinung, daß es sinnvoller wäre, die einzelnen Patienten darüber aufzuklären, ob sie einen störbaren Schrittmacher tragen oder nicht. Immerhin dürften mehr als zwei Drittel aller Patienten ein Mobilfunkgerät ohne Komplikationen benutzen und es an jeder Stelle ihres Körpers tragen.

Dem Arzt sei also geraten, sich mit den Schrittmachertypen vertraut zu machen, die möglicherweise vom Mobilfunk gestört

werden könnten (siehe Tabelle 2). Auch wenn sich daraus unter Umständen die mißliche Lage ergibt, daß er bei dem einen „ja“, bei dem anderen „nein“ zur uneingeschränkten Mobilfunkbenutzung sagen müßte, wäre dies der sachlich beste Weg, das Problem richtig zu handhaben. Vor allem müßte den 990 Patienten mit einer Stördistanz von 10 cm und mehr (siehe Kapitel 4.3) erklärt werden, daß sie ein Handy nur an das Ohr und nicht an den Thorax zu halten haben, wenn sie nicht besser ein Portable in 0,5 m Entfernung benutzen möchten.

Sollte ein Schrittmacher-Patient mit störbarem Implantat nicht auf sein D-Funk-Handy verzichten wollen, gibt es noch weitere Alternativen zum Abstandhalten. In Kapitel 3.3 wurde bereits darauf hingewiesen, daß ein Schrittmacher dadurch gegen Mobilfunk unempfindlich gemacht werden kann, daß die Wahrnehmungsschwelle erhöht wird. Wäre dies um den Faktor 2,4 bei al-

len Modellen geschehen (dies entspricht einer Anhebung des Minimalabstandes von 10 auf 20 mm), wären 30 von 79 Exemplaren nicht durch D-Funk störfähig gewesen. Für einen konkreten Patienten ist an Hand der Tabelle 2 abschätzbar, ob man damit einen Schrittmacher „entschärfen“ kann. Auch wenn dies nicht bei Stördistanzen von mehr als 30 mm möglich sein dürfte, bringt eine Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle dadurch mehr Sicherheit, daß der beeinflussende Abstand auch erhöht wird.

Wir fanden, daß ein mit feinen Metallfäden durchwirktes Oberhemd sehr wohl abschirmende Wirkung besitzt, die auch nächsten Abstand zwischen Gerät und Implantat erlaubt. Derartige Kleidungsstücke sind im Handel erhältlich.

Für die Zukunft wäre hingegen noch ein weiterer Schritt sinnvoll, der das Problem sehr schnell entschärfen würde. Würden die Mediziner in einem Ausschreibungstext für Herzschrittmacher die Bedingung aufnehmen, daß das Gerät störungsempfindlich gegenüber Mobilfunk sein müßte, hätte heutzutage fast keine Firma Schwierigkeiten in der Lieferung entsprechender Modelle, hingegen wäre gewährleistet, daß zukünftig alle Neuentwicklungen dem technischen Stand entsprächen, den man von ihnen mit Recht erwarten kann.

### 4.8 Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer Arbeitsgruppen

Auf besagter BEMS-Tagung vom 12. bis 17. Juni 1994 in Kopenha-

gen haben drei Arbeitsgruppen über ihre Erfahrungen mit Herzschrittmachern und Mobilfunk berichtet. Die ausführlichsten Ergebnisse legten Barbaro und Mitarbeiter [1] vor, die sowohl in-vitro als auch in-vivo Ergebnisse vorzuweisen haben. Von den 27 Modellen, die sie in-vitro untersuchten, haben wir nur sechs testen können. Dies liegt in erster Linie daran, daß italienische Herzschrittmacher zum Zuge kamen, die bei uns wenig benutzt werden. Zum anderen haben die Autoren offensichtlich die neuesten Modelle für die Untersuchungen geliefert bekommen, während bei uns der Schwerpunkt mehr auf den seit langem implantierten Geräten liegt. Bei den sechs gemeinsamen Untersuchungen gibt es 4



Die meisten störfähigen Schrittmacher zeigten bei einem Abstand von 10 cm und mehr zwischen Herzschrittmacher und Mobilfunkgerät keine Beeinflussung mehr. Prof. Irnich demonstriert eine entsprechende Distanz, bei der jedoch weder gewählt noch aktiv telefoniert werden kann.

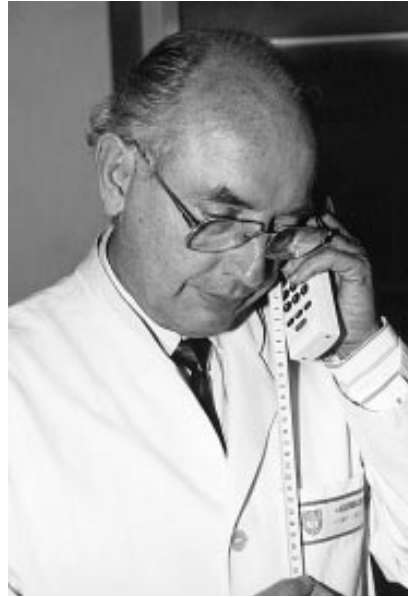
Übereinstimmungen, 2 Diskrepanzen. Die Diskrepanz dürfte darauf zurückzuführen sein, daß wir, anders als Barbaro et al., einen Grenzwert von 10 mm definierten, und daß sie zusätzlich bei einem Schrittmacher maximale Empfindlichkeit programmierten. Weiterhin testeten sie in-vivo die Schrittmacherempfindlichkeit gegenüber Mobilfunk bei 74 Patienten mit insgesamt 33 unterschiedlichen Modellen, von denen sich 26 (35,1 %) beeinflussen ließen. Auch hier konnten wir nur bei 13 Modellen unsere Ergebnisse vergleichen. Es ergaben sich 3 Diskrepanzen, wobei zweimal im Patienten eine Störung festgestellt wurde, die in unserem Versuch nicht auftrat, während einmal in unserem Modell ein Schrittmacher gestört wurde, der sich im Patienten als unempfindlich herausstellte. Berücksichtigt man, daß die von der italienischen Arbeitsgruppe angegebene Typenbezeichnung nicht ganz eindeutig ist, sind derartige Diskrepanzen einleuchtend, da schon eine Änderung an der Elektrodenbuchse in Größe und Konfiguration das Verhalten im Höchstfrequenzfeld maßgeblich beeinflussen kann. Im übrigen verweisen wir auf unsere Überlegungen in Kapitel 4.5.

Eine australische Arbeitsgruppe stellt in ihrem Abstract (9) fest, daß es keine Störeffekte bei Herzschrittmacher-Patienten gäbe, wenn die Sendeleistung von 25 W Spitzenwert in 20 cm Entfernung vom Brustkorb des Patienten appliziert würde. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu dem, was wir, aber auch die italienische Arbeitsgruppe gemessen haben. Er löst sich jedoch

sofort auf, wenn man weiß, daß eine der 6 Firmen, die in unserem Test ohne jede Beeinflussung war, australischen Ursprungs ist. Es ist also anzunehmen, daß die Tests in Australien bevorzugt mit Schrittmachern dieser Firma stattgefunden haben. Außerdem kann man mit Formel (4) in Anhang 5.1.1 abschätzen, daß 25 W bei 20 cm einem Abstand von 7,5 cm bei 2 W entspricht. Nach Tabelle 3 werden bei entsprechender Stördistanz aber nur 12 Modelle gestört, die vielleicht durch die Gruppe nicht getestet wurden. Entsprechende Angaben im Abstract fehlen.

Eine Schweizer Arbeitsgruppe [4] fand 7 beeinflussbare Schrittmacher aus einer Menge von 38 Schrittmachern (18,4 %). Es wird nicht gesagt, ob es sich um 38 unterschiedliche Modelle gehandelt hat oder nicht. Im DTX-Modus ergaben sich Störungen 1 bis 2 cm über dem Schrittmacher bei Handys, Portables mußten ca. 10 cm entfernt gehalten werden. Die Beeinflussungsquote von 18 % liegt deutlich unter der von uns und von Barbaro et al. ermittelten, sie läßt sich jedoch dadurch erklären, daß aufgrund der geringeren Typenauswahl möglicherweise resistenter Geräte getestet wurden.

Mit den Schlußfolgerungen der drei genannten Autorengruppen stimmen wir bedingt überein. Während die Australier sagen, daß es keine Probleme gibt, stellen die Italiener fest, daß es gefährlich werden könnte, während die Schweizer im Sinne einer vorläufigen Stellungnahme ausdrücken, daß sie D-Netz-Funkgeräte bei implantiertem



Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch des Mobilfunkgerätes werden sofort zwischen Antenne und Herzschrittmacher 20 cm und mehr gelegt, was gleichzeitig bedeutet, daß dann ein Herzschrittmacher durch das D-Netz nicht mehr zu beeinflussen ist.

Schrittmacher nicht empfehlen könnten. Da die anderen Autorengruppen sich nicht um die ungünstigste Stördistanz in der Weise gekümmert haben, wie wir es taten, konnte es auch wohl kaum zu einer vergleichbaren Empfehlung kommen, wie wir sie in Kapitel 4.7 ausgedrückt haben. Da die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen und deren Interpretation bei allen jedoch sehr ähnlich sind, wäre anzuregen, in der Behandlung dieser Frage einen einheitlichen Standpunkt zu beziehen, nämlich: Wie soll ein Herzschrittmacher-Patient künftig das Problem des Mobilfunktelephons handhaben, ohne daß man zum Hammer des völligen Verbots greift? Es wäre wünschenswert, diese Stellungnahme in einem Workshop unter Beteiligung von Ärzten zu erarbeiten.

### 4.9 Schlußfolgerungen

Unsere Ergebnisse und die daran geknüpften Betrachtungen lassen folgende Schlußfolgerungen zu:

1. C-Netz- oder D-Netz-Mobilfunkgeräte können die Funktion von bis zu 27 % aller zur Zeit implantierten Herzschrittmacher beeinflussen.
2. Unsere ermittelte Zahl 27 % stellt praktisch den Mittelwert der Ergebnisse von Barbaro et al. [1] (35,1 %) und Eicher et al. [4] (18,4 %) dar.
3. Eine Beeinflussung von Herzschrittmachern durch E-Netz-Mobilfunkgeräte konnte nicht gefunden werden.
4. Alle beeinflussbaren Schrittmacher nehmen nach Beendigung ihrer Störung ihren normalen Betrieb auf. Eine Umprogrammierung erfolgt nicht.
5. Eine Beeinträchtigung von Schrittmacherpatienten ist nur durch Mobilfunkgeräte im D-Netz zu erwarten.
6. Bei Einhalten eines Minimalabstandes von 25 cm zwischen Herzschrittmacher und einem 2-Watt-Handy sowie 50 cm bei einem portablen 8-Watt-Gerät ist eine Beeinflussung von Herzschrittmachern ausgeschlossen.
7. Am empfindlichsten reagieren Herzschrittmacher, wenn das D-Mobilfunkgerät im Modus „Gesprächsaufbau“ oder „DTX-Modus“ mit 2 Hz getaktet arbeitet.

8. Die Störfestigkeit bzw. auch die Beeinflußbarkeit ist unabhängig von der Komplexität und der Qualität des Herzschrittmachers.
9. Eine allgemeine Warnung von Herzschrittmacherpatienten vor Mobilfunk ist nicht zweckmäßig, da etwa 2/3 aller Patienten nicht beeinflussbar sind. Vielmehr sollten die Patienten aufgeklärt werden, ob sie einen störbaren Herzschrittmacher tragen oder nicht und wie sie sich bejahendenfalls zu verhalten haben.

## 5 Anhang

### 5.1 Berechnungen der maximalen Stördistanz und der Störimpfindlichkeit

#### 5.1.1 Stördistanz-Leistungs-Beziehung

Aus Abbildung 3 erkennt man, daß die Stördistanz-Leistungs-Korrelation im doppelt-logarithmischen Maßstab eine Gerade der Form darstellt:

$$\log D/\text{mm} = A + B \log P/\text{mW} \quad (1)$$

mit A = Konstante, die die Schrittmacherempfindlichkeit darstellt,

B = Konstante, die die Ausbreitung des Feldes charakterisiert.

Der Abstand D ist bis zur Oberfläche des Schrittmachers einzusetzen. Für drei Kennlinien ergab sich mit hohem Korrelationskoeffizient ( $r > 0.98$ ) ein gemittel-

sammenhang zwischen D und P auch so geschrieben werden kann:

$$D/\text{mm} = K \cdot (P/\text{mW})^{1/3} \quad (2)$$

mit  $K = 10^A$

Ist  $D_1 = f(P_1)$  bekannt, kann für ein beliebiges  $P_2$  angesetzt werden:

$$D_2/D_1 = (P_2/P_1)^{1/3} \quad (3)$$

oder

$$D_2 = D_1 (P_2/P_1)^{1/3} \quad (4)$$

(D = Stördistanz zur Körperoberfläche + 20 mm Wasser)

Mit Hilfe von Formel (4) kann der Abstand berechnet werden, wenn  $D_1$  bei beliebigem  $P_1$  bestimmt wurde, aber der entsprechende Abstand  $D_2$  für  $P_2 = 2 \text{ W}$  gesucht wird. Die Stördistanzen in Tabelle 2 und 3 wurden mit Formel (4) für 2 W bestimmt.

#### 5.1.2 Grenzwerte für Handys und Portables

Wir haben abgeschätzt, daß die Antenne nicht näher als 10 mm an die Körperoberfläche gebracht werden kann, der entsprechende Abstand lautet 50 mm beim Portable. Nimmt man für beide Geräteversionen eine Maximalleistung von 2 W bzw. 7 W an, ergibt sich aus Formel (4):

$$D_2 (7 \text{ W}) = 30 \text{ mm} \cdot (7/2)^{1/3} = 45,6 \text{ mm}$$

(D = Stördistanz zur Körperoberfläche + 20 mm Wasser)

Einem bei 10 mm Abstand zur Körperoberfläche störenden Handy entspricht also ein 25,5

mm Abstand beim Portable, was jedoch nach unseren Abschätzungen unrealistisch ist. Damit ist gezeigt, daß Handys wegen ihrer geringeren Abstandsmöglichkeit kritischer zu sehen sind als Portables.

#### 5.1.3 Stördistanz-Empfindlichkeits-Beziehung

Die Beziehung zwischen der maximalen Stördistanz und der programmierten Wahrnehmungsschwelle erwies sich im doppelt-logarithmischen Maßstab ebenfalls als linear, allerdings mit negativer Steilheit (Korrelationskoeffizient bei zwei Kurven  $r = 0,97$ ). Daraus ergibt sich der Ansatz

$$\log D/\text{mm} = a + b \log U/\text{mV}$$

mit b zwischen -0,300 und -0,333. Vereinfachend wird b mit -1/3 angesetzt:

$$D/\text{mm} = k \cdot (U/\text{mV})^{-1/3} \quad (5)$$

mit  $k = 10^a$

Sollte ein Schrittmacher oberhalb von 10 mm gestört werden, kann dies durch Heraufprogrammieren der Wahrnehmungsschwelle unter Umständen vermieden werden. Eine Verringerung der Schwelle um den Faktor 2 ergibt mit Formel (5):

$$\frac{D_2}{D_1} = \left( \frac{U_1}{U_2} \right)^{1/3} = 2^{1/3} = 1.26$$

Auf diese Weise wurde der Sicherheitsabstand von 25 cm für D-Netz-Handys errechnet bei Berücksichtigung des empfindlichsten Schrittmachers in Tabelle 3:

$$D_2/\text{mm} = 1.26 (189 + 20) - 20 = 243$$

Entsprechend kann auch der Sicherheitsabstand für Portables mit 7 W Leistung mit Formel (4) berechnet werden, indem das Leistungsverhältnis hoch ein Drittel mit dem Abstand bei 2 W multipliziert wird:

$$D(7 \text{ W})/\text{mm} = \left(\frac{7 \text{ W}}{2 \text{ W}}\right)^{1/3} \cdot 1,26 \cdot 209 - 20 = 380$$

oder der Sicherheitsabstand bis zur Körperoberfläche ist etwa 40 cm.

## 5.1.4 Empfindlichkeits-Leistungs-Beziehung

Wird die Wahrnehmungsschwelle eines Schrittmachers konstant gehalten, gilt Formel (2), wird hingegen die Leistung des Mobilfunkgerätes konstant gehalten, gilt Formel (5). Daraus kann der Ansatz gefolgert werden:

$$D/\text{mm} = K \cdot k \cdot \left(\frac{P/mW}{U/mV}\right)^{1/3}, \quad (6)$$

der beide Formeln in sich vereinigt.

Setzen wir  $D = \text{konst}$ , ergibt sich, daß:

$$U/mV = c \cdot P/mW \quad (7)$$

eine lineare Beziehung zwischen Leistung und Wahrnehmungsschwelle existiert.

## 5.2 Ermittlung der Anzahl der zur Zeit (1994) implantierten Herzschrittmacher-Modelle

Ausgangspunkt für diese Abschätzung, und mehr können die Angaben nicht sein, sind die dem

Zentralregister in den Jahren 1983 - 1994 zugegangenen Implantationsmeldungen von Schrittmachern (SM). Aus diesen Meldungen wurden Jahresberichte [8,9] erstellt, die die Situation der Schrittmachtherapie in der alten Bundesrepublik und seit 1991 auch die der neuen Bundesländer beschreiben. Ein dabei geschätzter Wert ist die Anzahl der in der Bundesrepublik lebenden Schrittmacher-Patienten. Für die Jahre 1992/1993 schätzen wir knapp 175.000 Patienten für die alten, für die neuen Bundesländer hingegen 29.000. Dies ist der erste Fixpunkt für die weiteren Überlegungen. Die folgenden Angaben beziehen sich jedoch nur auf die alten Bundesländer.

Da dem Zentralregister erst ab 1983 Daten verfügbar sind, andererseits unsere Patientenabschätzung zeigt, daß noch ca. 30.000 Patienten leben, die vor 1983 ihre Erstimplantation und bis heute noch keinen Austausch erlebten, ergibt sich ein relativ großes Kollektiv, über das keine konkreten Aussagen bezüglich der implantierten Herzschrittmacher und deren Funktionszeit gemacht werden kann, d.h. es läßt sich nur schwer abschätzen, wie viele dieser Patienten noch ihren ersten Schrittmacher tragen und um welche Typen es sich dabei handelt. Als Beispiel sei erwähnt, daß dem Institut für Medizinische Technik noch Schrittmacher zugeschickt werden, z.B. wegen Explantation vor Feuerbestattung, die in unserer Zentralregister-Liste gar nicht mehr auftauchen, da sie bereits seit 12 Jahren nicht mehr implantiert werden.

Neben der geschätzten Patientenzahl steht uns dann die Einzelmeldung von der Implantation mit dem angegebenen SM-Modell zur Verfügung. Nach Modellen sortiert, erhält man eine Liste, die ausweist, in welchem Jahr wie viele von einem bestimmten SM-Modell und wie viele insgesamt implantiert wurden. Da nicht alle implanzierenden Kliniken dem Zentralregister melden, müssen diese Zahlen noch auf die Gesamtheit aller implanzierenden Kliniken der alten Bundesländer hochgerechnet werden. Dabei hat sich der Anteil der meldenden Kliniken von etwa einem Drittel (1983) auf über die Hälfte (1993) erhöht.

Um auf die heute noch vorhandene Anzahl der jeweiligen SM-Modelle zu kommen, muß man die beiden Möglichkeiten des Ausscheidens eines SM quantitativ erfassen: Tod des Patienten (Durchschnittsalter 74 Jahre) und Explantation des SM wegen Defekts oder wegen Ende seiner Funktionszeit.

Um beide Effekte quantitativ zu erfassen, sind wieder einige Annahmen notwendig:

### a) Lebenserwartung der Patienten

Es wird angenommen, daß alle SM-Patienten das aus den Meldungen ermittelte Durchschnittsalter besitzen. Die Lebenserwartung eines SM-Patienten ist geringer als die der Normalbevölkerung. Von 1983 - 1994 haben sich sowohl das mittlere Implantationsalter als auch die Lebenserwartung (lt. Statistischem Jahrbuch [12]) erhöht, und zwar nicht gleichmäßig. Wir haben für

die Jahre 1983 bis 1993 mit einer Exponentialfunktion, die obige Effekte berücksichtigt, berechnet, wie viele Patienten noch überlebt haben dürften.

### **b) Endliche Funktionszeit des Schrittmachers**

Hat ein Patient seine mittlere Lebenserwartung erlebt, so könnte innerhalb der betrachteten Zeit der Schrittmacher ausgetauscht worden sein, da seine Funktionszeit nun die begrenzende Größe ist. Leider lassen sich Funktionszeiten auch nur schwer abschätzen. Bei Firmenangaben wird von 100%iger Stimulation und den Standardwerten ausgegangen. Durch Umprogrammierungen, kleinere Amplitude und kürzere Impulsdauer lassen sich diese aber leicht verdoppeln, eventuell auch verringern. Hinzu kommt, daß nur der geringere Teil der SM-Patienten eine permanente Stimulation benötigt. Aus mehreren Quellen (Firmenangaben, PACE-Data-Cards [8], Bilitch Report in PACE [10], Explantationsdatei des Zentralregisters) wurden daher mittlere Funktionszeiten ermittelt. Mit diesen wurden dann nach einem ‚Alles oder Nichts‘-Gesetz die Schrittmacher ausgeschieden, deren Implantationsdauer die Funktionszeit überschritten hatte.

### **c) Vom Alter abhängige Überlebenswahrscheinlichkeit**

Eine zweite Version erfaßte alle Einzelimplantationen (über 150.000) und hat dann eine dem jeweiligen Patientenalter zugehörige Überlebenswahrscheinlichkeit angewendet. Die dabei erhaltenen Daten waren denen der Version a) sehr ähnlich. Es wurde dann eine Mittelwertbildung der Ergebnisse dieser bei-

den Berechnungsvarianten vorgenommen.

Eine der wesentlichen Unsicherheiten resultiert aus der Tatsache, daß das geschätzte Patientenkollektiv (175.000) nicht auf das Kollektiv der Zentralregistermeldungen abbildbar ist, denn wegen der möglichen Austauschoperationen – das sind ca. 20 % aller Implantationen – tauchen in den Zentralregistermeldungen manche Patienten mehrfach auf. Dieser Effekt sowie die Anzahl der Erstimplantationen von vor 1983, die noch keinen Austausch benötigten, ergeben eine Unsicherheit, die sich in der Tatsache äußert, daß die Summe aller Schrittmacher aus unserer Tabelle nicht die Anzahl der lebenden Patienten erreicht, sondern ca. 30.000 Schrittmacher übrig bleiben, über die keine Aussagen gemacht werden können.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Zusammenstellung der Daten soll noch erwähnt werden, da sie bei der Interpretation der Ergebnisse hilfreich ist, und zwar das Problem der exakten Modell-Bezeichnung. Die meisten SM-Hersteller unterscheiden ihre Produkte nicht nur durch einen exakten eindeutigen Modell-Code, sondern auch noch mit einem (Familien-) Namen. Dieser Name ist in der Regel mehrdeutig (z.B. unterscheidet man bei der Firma Vitatron ca. 12 Modelle mit dem Namen CERYX, bei der Firma Medtronic ca. 8 mit dem Namen LEGEND. Leider werden uns auf den Meldezetteln häufig nur die Namen mitgeteilt, so daß in vielen Fällen eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist. Weiterhin werden die

Modell-Angaben durch Zusätze für unterschiedliche Elektrodenanschlüsse erweitert, so daß sich die Anzahl der Modelle weiter erhöht. Inwieweit innerhalb einer Familie (s.o.) bzw. bei gleichem Modell, aber unterschiedlichem Elektrodenanschluß relevante Unterschiede im Störverhalten zu erwarten sind, kann nicht vorhergesagt werden, zunächst muß damit gerechnet werden. Es wurde sogar festgestellt, daß innerhalb eines Modells Änderungen auftreten, die störrelevant sind. Dies war nur anhand der Serien-Nummer zu erkennen.

Da im Verlauf der 10 Jahre der SM-Registrierung auch mehrere Firmenzusammenschlüsse stattfanden, mußten die jeweiligen Modelle aus der Zeit vor dem Zusammenschluß in ihren Firmenkürzeln den neuen Verhältnissen angepaßt werden. Die bekannte Firma SIEMENS-ELEMA kommt in unserer Aufstellung nicht mehr vor, denn aus SIEMENS-ELEMA (Symbol EL) und PACESETTER (Symbol PA) wurde die Firma SIEMENS-PACESETTER (Symbol SP) (seit Oktober 1994 wieder Pacesetter).

Mit allen diesen Bemerkungen soll deutlich gemacht werden, mit welchen Schwierigkeiten und Unsicherheiten man es zu tun hat, wenn man Zahlenangaben für die im Jahre 1994 noch implantierten SM-Modelle zusammenstellen will. Die Daten über die SM-Anzahl aus den Tabellen 2, 3 und 5 sind daher nur als grober Schätzwert zur Abschätzung des Risikos bei festgestellter Störbeeinflussung eines bestimmten SM-Modelles zu betrachten.



Tabelle 6:  
Die für die Störbeeinflussung wesentlichen Eigenschaften der Mobilfunknetze

DTX = Discontinuous Transmission, (Energiesparschaltung, wenn der Teilnehmer schweigt, wird nur noch alle 125 ms (= 8 Hz) ein Signal übermittelt), nur in D- und E-Netz-Geräten vorhanden

	C-Netz	D-Netz	E-Netz
<b>Trägerfrequenz (Mitte):</b> <b>Informationscodierung:</b> <b>Datenübertragung:</b>	450 MHz analog(fm) kontinuierlich	900 MHz digital gepulst	1800 MHz digital gepulst
<b>max. Pulsleistung:</b> Handy Portable	2 W 15 W	2 W 8 W	1 W -
<b>Niederfrequente Demodulationsprodukte:</b> Gesprächsaufbau normaler Betrieb ohne DTX mit DTX, Benutzer schweigt	5 Pulse in 10 s keine -	2/217 Hz 8/217 Hz 2/8/217 Hz	2/217 Hz 8/217 Hz 2/8/217 Hz

## 6 Glossar

### 6.1 Glossar zum Mobilfunk

Im Bericht werden die 3 Mobilfunknetze C, D und E erwähnt.

Die für die Störbeeinflussung wesentlichen Eigenschaften dieser Netze sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

### 6.2 Glossar zum Herzschrittmacher

#### Herzschrittmacher:

Elektrisches Gerät, das elektrische Impulse einer bestimmten Spannung in einem bestimmten zeitlichen Abstand (Periodendauer) über eine Elektrode an das Herz abgibt. Über die gleiche Elektrode kann der Schrittmacher auch messen (wahrnehmen), ob das Herz selbst Signale erzeugt (Eigenrhythmus).

#### Elektrode:

Sie stellt die elektrische Verbindung zwischen dem Schrittmacher und dem Herzen her. Die Elektrode leitet sowohl die Stimulationsimpulse von Schrittmacher

zum Herzen als auch die Herzsignale vom Herzen zum Schrittmacher. Sie besitzt eine Zuleitung aus einer mehrfach gewendelten Metallspirale und einer Isolation aus Silikon oder Polyurethan. Man unterscheidet unipolare (Stromleitung über das Schrittmachergehäuse) und bipolare Elektroden (zwei elektrische Leiter im Herzen).

#### Festfrequenter (asynchroner) Schrittmacher:

Der Schrittmacher gibt dauerhaft Impulse an das Herz ab, unabhängig davon, ob das Herz zwischendurch auch eigene Signale erzeugt. Man sagt, der Schrittmacher arbeitet „festfrequent“. Dies führt bei vorhandenen Herzeigenen Signalen zu einem Herzstolpern, das auch als Parasystolie bezeichnet wird.

#### Synchronisierter Schrittmacher:

Schrittmacher, der auf ein externes Signal (vom Herzen kommend oder von einer Störung stammend) reagiert, er wird also synchronisiert. Die Reaktion des Schrittmachers kann dabei dann folgende sein:

- a) Inhibition (die meisten Schrittmacher):

Nimmt ein solcher Schrittmacher Signale wahr (entsprechend seiner Wahrnehmungsempfindlichkeit), so gibt er keinen Impuls mehr ab, er ist inhibiert.

- b) Triggerung (nicht mehr häufig verwendet):  
Nimmt ein solcher Schrittmacher Signale wahr, so gibt er jeweils synchronisiert einen Stimulationsimpuls ab, er wird getriggert.

- c) Vorhof-Ventrikel-Triggerung: Der Schrittmacher nimmt über die Vorhofelektrode ein Signal wahr, das er verzögert mit einem Impuls an die Hauptkammer beantwortet (Vorhof-Ventrikel-Synchronisation).

#### Freilaufender Schrittmacher:

Hat ein Patient keinen Eigenrhythmus mehr, oder ist dieser sehr langsam, so nimmt der Schrittmacher keine Signale wahr, die ihn synchronisieren könnten, er wird also im festgelegten (programmierten) Rhythmus Stimulationsimpulse an das Herz abgeben, er läuft frei. Dies ist der Fall bei von Schrittmachern abhängigen Patienten.

## Störfrequenz:

Nimmt der Schrittmacher Signale wahr, die aufgrund ihres zeitlichen Verlaufs als nicht aus dem Herzen stammend erkannt werden, so wird er auf „Störfrequenz“ umgeschaltet. Der Schrittmacher erkennt nun keine Herzsignale mehr, er gibt dauerhaft, solange die Störung anhält, Impulse ab, er arbeitet festfrequent (asynchron).

## Vulnerable Phase:

Zeitintervall innerhalb des Ablaufes einer Herzerregung, in der ein neuer Impuls (z.B. von einem Schrittmacher) Herzrhythmusstörungen oder sehr selten auch Kammerflimmern auslösen kann.

## Wahrnehmungsschwelle:

Spannungsangabe, die ausdrückt, wie groß die Signale, über eine Elektrode geliefert, mindestens sein müssen, um vom Schrittmacher erkannt zu werden.

## Parasytolie:

Nebeneinander mehrerer Rhythmen, die das Herz erregen, z.B. Herzeigenrhythmus und Schrittmacherrhythmus. Daraus resultiert eine Unregelmäßigkeit des Herzschlages, es kommt zum Herzstolpern.

## Refraktärzeit:

Zeit, innerhalb der der Schrittmacher nach einem Impuls oder einem Herzsignal kein weiteres Signal mehr wahrnimmt.

## 7 Literatur

- [1] Barbaro V, Bartolini P, Donato A, Militello C: GSM cellular phone interference with implantable pacemakers, Bioelectromagnetic Society, Sixteenth Annual Meeting, Copenhagen, Denmark, June 12 - 17, 1994 (nur Vortrag)
- [2] Bethge K-P, Brandes A, Gonska B-D: Diagnostic sensitivity of Holter monitoring in pacemaker patients, J. Amb. Mon. 2 (1989), 79-89
- [3] Bisping HJ, Irnich W, Meyer J, Effert S: Störbeeinflussung implantierter Schrittmacher im Alltag, Dtsch. med. Wschr. 97 (1972), 97-104
- [4] Eicher B, Ryser H, Knafel K et al: Effects of TDMA-modulated hand-held telephones on pacemakers, Bioelectromagnetic Society, Sixteenth Annual Meeting, Abstract Book, Copenhagen, Denmark, June 12 - 17, 1994, I-1-10
- [5] Furman S, Parker B, Krauthammer J, Escher D: The influence of electromagnetic environment on the performance of artificial cardiac pacemakers, Ann. Thorac. Surg. 6 (1968), 90-95
- [6] Irnich W, Batz L: Jahresbericht 1991 und 1992 des Zentralregisters Herzschrittmacher, Herzschrittmacher 13 (1993), 142-148
- [7] Irnich W, Batz L: Jahresbericht 1993 des Zentralregisters Herzschrittmacher, Herzschrittmacher 14 (1994), 239-248
- [8] Irnich W: PACE-DATACARDS: PACE 8 (1985), 9 (1986), 10 (1987), 11 (1988)
- [9] Joyner KH, Anderson V, Wood MP: Interference and energy deposition rates from digital mobile phones, Bioelectromagnetic Society, Sixteenth Annual Meeting, Abstract Book, Copenhagen, Denmark, June 12 - 17, 1994, I-1-11
- [10] Long S: The Bilitch Report Part A: Performance of implantable cardiac rhythm management devices, PACE 12 (1989) 510, 13 (1990) 371, 14 (1991) 589, 15 (1992) 475, 16 (1993) 814
- [11] Rödiger W: Diebstahlsicherungen sind doch gefährlich, Medical Tribune Nr. 46 vom 16.11.1991, 26-28
- [12] Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 1993 für die Bundesrepublik Deutschland, Kohlhammer, Stuttgart 1993
- [13] Tobisch R: Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Herzschrittmacherelektroden, als Dissertation im Fachbereich Humanmedizin der Justus-Liebig-Universität eingereicht
- [14] VDE-Norm 0750 Teil 9 A1/8.92: Sicherheit implantierbarer Herzschrittmacher – Schutz gegen elektromagnetische Störungen

Summary:

# Interference of pacemakers by mobile phones

Prof. Dr.-Ing. W. Irnich, Dr. rer. nat. L. Batz, T.A. R. Müller, Dipl.-Ing. R. Tobisch  
Institut für Medizinische Technik der Justus-Liebig-Universität Gießen

The topic "interference of pacemakers by mobile phones" has found a surprisingly strong interest not only in pacemaker patients but also in the public opinion and in field producers responsible for mobile phones. Though there have been already three reports on this topic, further investigation are carried out to get additional data. This is the more surprising as the problem of interference in the past has scarcely found the attention which it deserves in the interest of the patient.

The quality of interference detection in today's pacemakers has not really been improved since the seventeenth, however the quality of interference suppression has largely increased due to encapsulation of pacemakers by metallic housings. However, interference immunity against highest frequencies, as they are produced by mobile phones of the C-, D-, and E-net, is surely not taken into design considerations.

It was the intention of our investigation to test as many pace-

maker models as possible with the aid of an in-vitro measuring set-up, whether incompatibility with phones of the C-, D-, and E-net may happen. We had resources to 231 different models of 20 manufacturers. During the measurements a pulse generator together with a suited lead was situated in a 0.9g/l saline solution and the antenna of a mobile phone was positioned as close as possible. If the pulse generator was interfered, the antenna was elevated until interference ceased. As "maximum interference distance" the gap was defined up to which interference hapened. All three nets were tested one after the other.

Out of 231 pulse generator models 106 pieces corresponding to 45.9% were interfered either by C- or D-net, if both are summed up. However, this view is too pessimistic as no patient will simultaneously use C- and D-net phones. Separated into C- or D-net interference the result is 30.7% or 34.2% respectively of all models tested. The susceptible models on their part re-

present 18.6% or 27% respectively of today's living patients. All models were resistant against the E-net.

With respect to D-net-phones, all pacemakers of six manufacturers proved to be unaffected. Eleven other manufacturers possessed affected and unaffected models as well.

The following advices for patients and physicians can be derived from our investigations: Though 27 % of all patients may have serious problems with D-net phones (not C- or E-net), the usage should not be questioned generally. On the contrary, patients with susceptible devices should be advised that a distance of 25 cm is sufficient to guarantee integrity of the pacemaker with respect to handies. Portables, on the other hand should have a distance of about half a meter. It would be desirable for the future if implanting physicians would only use pacemakers whose immunity against mobile phones would be testified by the manufacturers.



## **Impressum**

### **Newsletter Edition Wissenschaft der FGF e.V.**

**Herausgeber:** Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Rathausgasse 11a,  
D-53113 Bonn, Telefon: 0228 / 72622-0, Telefax: 0228 / 7262211

**Redaktion:** Gerd Friedrich (verantw.)

**Grafik, Satz, Layout:** Autoren Societät, Bonn

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. durchgeführt. Die Berichte geben die Meinungen der Autoren wieder und stellen daher nicht unbedingt auch die Meinung der FGF dar.

**ISSN 1430-1458**